BETON

IX. évf. 7-8. szám szakmai havilap 2001. július-augusztus

Fogalom-tár

Változó világunk a magyar beton- és vasbetonipart és annak művelőit nap, mint nap komoly kihívások elé állítja. Új anyagokkal, új technológiákkal és ezzel összefüggésben egyre több új fogalommal kell megismerkednünk. Az is előfordul: korábbi fogalmainkat új megvilágításba kell, hogy helyezzük. Lapunk fő célkitűzése, hogy segítse a betonnal foglalkozókat napi munkájukban, és közvetítse feléjük - Önök felé – a szakma legújabb eredményei mellett mindazt a gyakorlati tudnivalót, amely a jó minőségű, tartós beton előállításához szükséges. Ezzel összefüggésben indított állandó rovatunkat (Rovatvezető: Dr. Kausay Tibor) fórumnak is szánjuk. Itt kívánjuk az új – régi fogalmakat definiálni, illetve megmagyarázni azok pontos jelentését. Lehetővé kívánjuk tenni, hogy mindenki, aki érdeklődik a téma iránt, elmondhassa véleményét, kifejthesse álláspontját. Várom hozzászólásaikat!

Asztalos István
asztalos_i@elender.hu

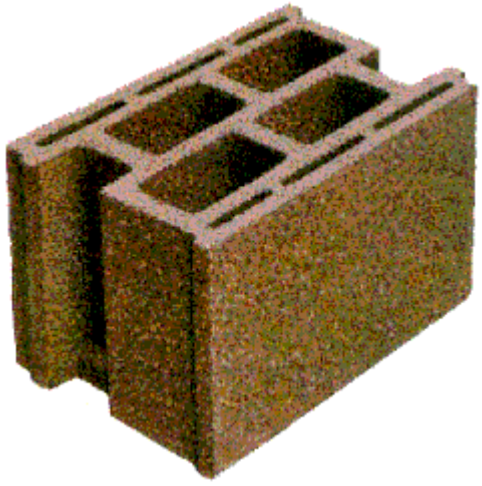
Témakör	Megjelenés dátuma
Adalékanyag	2003. október
Adalékszerek, betonadalékszerek	2007. július-augusztus, szeptember
Alkálifém-oxid reakció	2001. július-augusztus
Bauxitbeton	2008. szeptember
Bontott, újrahasznosított adalékanyag	2004. április
Cement gyártása. Kötőanyagok 3.	2007. december
Cement hidratációja. Kötőanyagok 5.	2008. március
Cement. Klinkerásványok. Kötőanyagok 4.	2008. január
Elgőzölhető és el nem gőzölhető víz	2002. május
Fagyálló beton, fagy- és olvasztósó-álló beton. Fagyállóság és vizsgálat	2010. február és április
Fajlagos felület	2001. szeptember
Fiatal beton szilárdulási folyamata. 1. rész: Nurse-Saul-féle modell, Papadakis-Bresson-féle modell	2010. december
Finomsági modulus és Hummel-féle terület	2004. július-augusztus
Gázbeton, pórusbeton	2002. július-augusztus

Gyengén hidraulikus kötőanyagok: Hidraulikus mész, románcement (római cement, románmész), kőművescement, mészpuccolán. Kötőanyagok 2.	2007. október
Habbeton, habcement	2003. január
Harmonizált európai szabvány	2003. február
Homokos kavics, homok, kavics	2003. december
Ismétlési és összehasonlítási feltételek	2003. szeptember
Konzisztencia, beton konzisztencia	2003. március
Könnyű-adalékanyag	2002. november
Könnyű-adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú beton	2002. szeptember
Könnyűbeton	2002. október
Legnagyobb szemnagyság	2004. december
Levegőn szilárduló szervetlen kötőanyagok. Kötőanyagok 1.	2005. szeptember
Levegőtartalom, légtartalom	2008. június
Légbuboréktartalom, távolsági tényező	2008. november - december
Nagyszilárdságú beton	2009. szeptember
OC-görbe, működési jelleggörbe, elfogadási jelleggörbe	2010. szeptember
Őrlési finomság	2001. július-augusztus
Pórusszerkezet	2002. április
Roskadási mérték	2003. április
Sejtszerkezet, sejtbeton	2002. június
Sűrűség és fajsúly	2001. október
Szemalak	2005. május
Szemmegoszlás	2004. május
Szemmegoszlás tervezés, javítás	2004. november
Szemmegoszlási jellemzők	2005. február
Szilikapor, mikroszilika szuszpenzió	2009. május
Szövetszerkezet, szilárd test, szilárd anyag	2001. december

Terülési mérték	2003. május
Tömörítési mérték, tömörödési tényező	2003. július-augusztus
Tömörség és porozitás	2002. január
Ultra nagy szilárdságú beton	2009. október és november - december
VEBE - méteres átformálási idő	2003. június
Víz-cement tényező, víz/cement tényező	2008. április
Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás, vízfelszívás	2002. február
Zúzottkő	2004. január

Könnyű-adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú beton

Németül:	- Haufwerksporiger Leichtbeton - Einkornbeton (Egyszemcsés beton)
Angolul:	- Lightweight aggregate (LWA) concrete (LAC) with open structure - No fines concrete (Egyszemcsés beton)
Franciául:	Béton de granulats légers á structure ouverte



Duzzasztott agyagkavics adalékanyagú, nagy-hézagtérfogatú betonból készített főfal-falazóelem

Duzzasztott agyagkavics beton falazóelem oldalának hézagos felülete, cementpéppel bevont szemekkel

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A könnyű-adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú beton a könnyűbetonok ❖ egyik fajtája. Adalékanyaga közel egyszemcsés szemeloszlású ❖ könnyű-adalékanyag ❖, amely durva és közepes nagyságú szemekből áll, finomszemeket nem, vagy csak nagyon kis mennyiségben tartalmaz. A nagy hézagtartalom előállítása érdekében a cementpép nem tölti ki az adalékanyag szemek közötti hézagokat, mennyisége csak az adalékanyag szemek felületének vékony bevonásához elegendő. A frissbeton keverővíz adagolása nem olyan nagy, hogy a cementpép a vízzel alulra süllyedjen, és az alsó hézagokat betömje. A keverővíz adagolás elegendő viszont ahhoz, hogy a cementpép minden adalékanyag szemet egyenletesen bevonjon. A frissbeton csak kissé tömöríthető. Az adalékanyag szemek pontszerűen érintkeznek egymással. A frissbeton hézagtérfogata ❖ a hézagok kitöltésétől függően a 20 térfogat %-ot általában meghaladja, és akár a 40 térfogat %-ot is elérheti.

A szilárd könnyű-adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú betonban az adalékanyag szemek közötti hézagok nyitottak és jól láthatók. Az összporozitás (az adalékanyag szemekben lévő pórusok és a szemek között lévő hézagok együttes mennyisége) ❖ akár 60 térfogat % felett is lehet. A beton testsűrűsége ❖ 1100-1400 kg/m^3, nyomószilárdsága ❖ 2,5 – 12,5 N/mm^2, hővezetési tényezője ❖ a testsűrűségtől, a könnyű-adalékanyag fajtájától függően 0,3 - 0,5 W/mK.

Adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú beton többféle adalékanyaggal készíthető. Az adalékanyag elvileg lehet duzzasztott agyagkavics, kohóhabsalak, pernyekavics, kazánsalak (könnyű-adalékanyag), esetleg kavics,

zúzottkő (közönséges adalékanyag) ❖, a gyakorlati alkalmazhatóság azonban az adalékanyag kémiai és fizikai tulajdonságainak, az előállított termék minőségének és tartósságának, valamint a gazdasági feltételeknek függvénye.

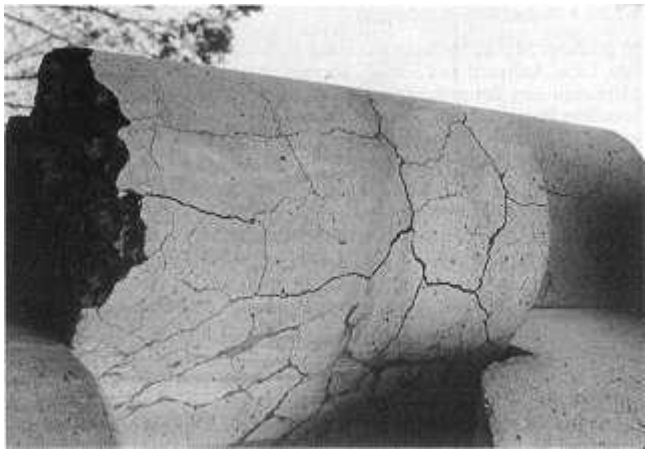
Magyarországon például az 1960-as években építettek kísérleti jelleggel öntött kohóhabsalak-beton falszerkezetű épületeket, ahol a kohóhabsalak szemnagysága 7/15 vagy 15/30 mm volt. Az 1980-as években kavicsból állítottak elő egyszemcsés (12/20 mm szemnagyságú), szemcsehézagos monolit betont, amiből ún. "No-fines" rendszerű, tömörítés nélküli öntöttbetont készítettek, és amelyet legfeljebb ötszintes lakóépületek építéséhez használtak. Napjainkban hazánkban a könnyű-adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú beton készítésére a duzzasztott agyagkavics alkalmazása terjedt el. Duzzasztott agyagkavics adalékanyagú, nagy-hézagtérfogatú betonból elsősorban főfal-falazóelemeket, válaszfallapokat, hőszigetelő falazóelemeket, ritkán, inkább külföldön falelemeket gyártanak.

A könnyű-adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú beton testsűrűségének vizsgálatával az MSZ EN 992:1998, nyomószilárdságának vizsgálatával az MSZ EN 1354:1998, az építőelemek méretének meghatározásával az MSZ EN 991:1998 európai szabvány foglalkozik.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. szeptember havi számának 16. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Alkálifém-oxid reakció Nevezik egyszerűen **alkáli reakciónak** is.	
Németül:	Alkali-Reaktion	
Angolul:	Alkali reaction	
Franciául:	Alcali-réaction	
	Alkáli szilikát reakció	
Németül:	AKR = Alkali-Kieselsäure-Reaktion	
Angolul:	ASR = Alkali silica reaction	
Franciául:	AAR = Alcali-agrégat-réaction	



Repedések alkálifém-oxid - szilikát reakció következtében.
Forrás: Deutscher Beton-Verein E.V.: “Beton-Handbuch”
(A kiadás éve ismeretlen).
A http://www.b-i-m.de/Lexikon/Inhalt/alkaliloe.htm web-oldal alapján

Egyes beton-adalékanyagok és az alkálifém-oxid dús cementek hidratációs termékében levő alkálifém-hidroxidok beépülési, vagy csere-bomlásának a megnevezése. A reakció a szilárd betonban kedvezőtlen körülmények hatására, hosszú évek alatt fejlődhet ki. Térfogat-növekedéssel, a beton összerepedezésével, szilárdság-csökkenésével jár, a beton felületén reakció-termékek jelenhetnek meg. Az ilyen betont javítani nem lehet.

Az alkálifém-oxid reakciónak két alapvetően különböző változata van.

Az alkálifém-oxid - szilikát reakció kovasav kőzetek (magmás, laza és összeálló törmelékes, átalakult kőzetek) esetén léphet fel, ha az azokban levő alkálifém-oxid érzékeny kovasavtartalmú részecskék - például az opál, vagy esetleg a kalcedon ásványokban lévő oldható kovasavalkotók (nem kristályos, amorf szilikátok ún. hidrogélek) - a cementkő alkálifém-hidroxidjaival alkálifém-szilikátoldatok képződése mellett reagálnak.

Az alkálifém-oxid - karbonát (alkálifém-oxid - dolomit) reakció egyes meszes vagy agyagos-kovás-meszes dolomitok esetén fordulhat elő. Két alfaja ismert: A *duzzadásos alkálifém-oxid - dolomit reakció* során a dolomit adalékanyag kalcium-magnézium-karbonátja és a cementkő alkálifém-hidroxidja egymásra hatásából alkálifém-karbonát, magnézium-hidroxid (brucit) és kalcium-karbonát keletkezik, és kedvezőtlen esetben a reakció a teljes átalakulásig folytatódhat. A *szilárdság-csökkenéses alkálifém-oxid - dolomit reakció* oka az agyagos komponensben lévő szilícium-dioxid vándorlása az adalékanyag szem közepéről annak peremére, ahol lecsapódik. A kovásodott réteg csökkenti a cementkőhöz való tapadást és ezáltal a beton szilárdságát.

Az alkálifém-oxid reakció elkerülhető, ha az alkalmazott portlandcement nátrium-oxid egyenértéke a 0,6 tömeg%-ot nem haladja meg, a cement mennyisége kevesebb mint 400 kg/m^3, ha a kovasavtartalmú

adalékanyag nem tartalmaz alkálifém-oxid érzékeny részecskéket, ha a dolomit adalékanyag dolomit-ásvány tartalma több, mint 90 tömeg%, ha a beton környezete száraz és hőmérséklete nem magas.

Az alkálifém-oxid reakció elsősorban az USA-ban, Kanadában, Irakban, Németországban, Lengyelországban fordul elő, magyarországi előfordulása egyértelműen nem bizonyított, illetve eddig szórványos volt. Kedvezőtlen anyagtani, betontechnológiai, környezeti változások elősegíthetik fellépését hazánkban is.

Lásd még a Noteszlapok “Beton-adalékanyagok alkáli reakciója” című oldalát.

Megjelent a BETON szakmai havilap 2001. július-augusztus havi számának 12. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Őrlési finomság

Németül:	Mahlfeinheit
Angolul:	Grinding fineness
Franciául:	Finesse de broyage

Szitaberendezés az őrlési finomság meghatározásához.
A Schulek Frigyes Kéttannyelvű Építőipari Műszaki Szakközépiskola laboratóriumának mérőeszköze

Az őrlési finomság a por (esetleg dara) alakú, szervetlen, szilárd halmazállapotú, kémiai folyamatok hatására szilárduló kötőanyagok (cement, gipsz, mészliszt, mészdara, mészhidrát, hidraulikus mész) szemnagyságának jellemzője. Vizsgálatát szitamódszerrel szokás végezni. A száraz vagy kiszárított állapotú vizsgálati mintán végzett szitavizsgálat eredményét cement esetén **őrlési finomságnak** (MSZ EN 196-6:1992), gipsz esetén **őrlésfinomságnak** (MSZ 57:1977), mész esetén **szitamaradéknak** (MSZ 108-11:1992) nevezik.

A szitamódszerrel meghatározott őrlési finomság (őrlésfinomság, szitamaradék) a vizsgálószitán fennmaradt anyag tömegének és a vizsgálati minta teljes tömegének hányadosa tömeg%-ban kifejezve. A vizsgálószita nyílása (lyukbősége) cement esetén 0,09 mm, gipsz esetén 0,2 mm, mész esetén 0,09 mm, 0,2 mm, 0,63 mm, 2,5 mm.

Cement esetén az őrlési finomságot légáteresztő képesség vizsgálattal (Blaine módszer) is meg lehet határozni (MSZ EN 196-6:1992). A vizsgálat eredménye a fajlagos felület ❖ értéke. A fajlagos felület értéke a cement sűrűségének ❖ is függvénye, ezért nem kizárólagosan a szemnagyság ❖ jellemzője.

Az őrlési finomság értékére a cement termékszabvány (MSZ EN 197-1:2000) nem tartalmaz, a gipsz termékszabvány (MSZ 57:1977) és az építési mész termékszabvány (MSZ 108-2:1992) tartalmaz követelményt. Régebben a cementek őrlési finomságát is előírták (MSZ 4702-2:1981). Az őrlési finomságot az MSZ EN 197-1:2000 cement termékszabvány csak bizonyos főalkotórész (bázikus pernye ❖) vizsgálati feltételéül írja elő, 0,04 mm nyílású vizsgálószita alkalmazásával.

Az őrlési finomság növekedésével általában és bizonyos határig növekszik a kötőanyag szilárdsága, de a kötőanyag őrlési finomságának növelése a beton, a habarcs vagy a pép szilárdsága ❖ növelésének nem az egyetlen és kizárólagos eszköze.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

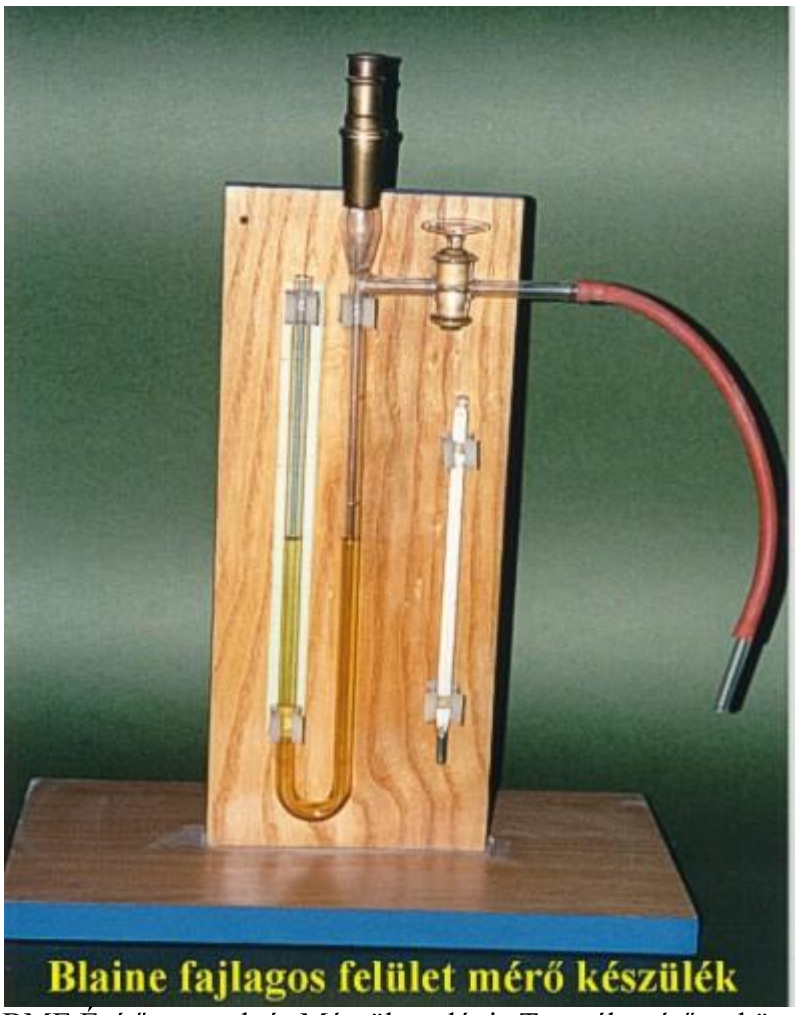
Megjelent a BETON szakmai havilap 2001. július-augusztus havi számának 13. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Fajlagos felület

Németül:	Spezifische Oberfläche
Angolul:	Specific surface
Franciául:	Surface spécifique

A *fajlagos felület* granulometriai ❖ fogalom, amely az egységnyi mennyiségű szemhalmaz szemeinek felületösszegét fejezi ki. Az egységnyi mennyiség alatt általában az egységnyi *tömeget* értik, de lehet az egységnyi *térfogat* is. A szemhalmaz fajlagos felülete a szemek átmérőjének csökkenésével fordított arányban növekszik, ezért elsősorban finomszemű halmazok (porok, darák) finomságának vagy őrlési finomságának ❖ kifejezésére használják.



BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék mérőeszköze

A tulajdonképpeni fajlagos felület az egységnyi *tömegű* szemhalmaz szemeinek felületösszege, és mértékegysége m^2/kg, ami 10^3 mm^2/g, vagy 10^{-3} m^2/g értéknek felel meg. A fajlagos felület értéke az anyag testsűrűségének ❖ is függvénye, ezért nem kifejezetten szemeloszlás- (szemmegoszlás-) jellemző ❖.

Nagyságát általában a Blaine-féle légáteresztő képesség vizsgálattal (MSZ EN 196-6:1992) határozzák meg. A Blaine-féle fajlagos felületre követelmény értéket a visszavont MSZ 4702-2:1981 cement termékszabvány tartalmazott, az érvényes MSZ EN 197-1:2000 cement termékszabvány csak bizonyos főalkotórész (mészkő) vizsgálati feltételéül írja elő. A Blaine-féle módszer csak zárt pórusú anyagok esetén ad tényleges értéket, ezért a fajlagos felület mérésére különleges esetekben a BET-féle (Brunauer, S. - Emmett, P. H. - Teller, E. nevének kezdőbetűiből) gázadszorpciós eljárást (ISO 9277:1995) alkalmazzák, amelynek vizsgálati eredménye a nyílt pórusú szemek belső felületét is tartalmazza. Az MSZ EN 197-1:2000 cement termékszabvány a szilikapor ❖, mint főalkotórész finomságát követeli meg BET-féle fajlagos felületben kifejezve.

CEMKUT Cementipari Kutató-Fejlesztő Kft mérőeszköze

A térfogati fajlagos felület az egységnyi *testtérfogatú* szemhalmaz szemeinek felületösszege, azaz a szemek külső felülete összegének és a szemek e külső felülettel határolt térfogata összegének hányadosa. Mértékegysége m^2/m^3, ami 10^{-3} mm^2/mm^3 értéknek felel meg. A tulajdonképpeni fajlagos felületből úgy származtathatjuk, hogy annak értékét a szemek átlagos testsűrűségével mértékegység helyesen megszorozzuk. Például valamely 300 m^2/kg fajlagos felületű és 3000 kg/m^3 testsűrűségű szemhalmaz térfogati fajlagos felülete 900 mm^2/mm^3. Minthogy a térfogati fajlagos felület független a testsűrűségtől, ezért szemeloszlás- (szemmegoszlás-) jellemző, és kifejezhető úgy is, mint a reciprok beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemeloszlási görbe ❖ alatti terület hatszorosa.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Lásd még a Noteszlapok “Szemeloszlás-jellemzők harmóniája, avagy grafoanalitikus számításmódja” című oldalát.

Megjelent a BETON szakmai havilap 2001. szeptember havi számának 14. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Sűrűség és fajsúly

Németül:	Sűrűség = Dichte Fajsúly = Wichte, Spezifisches Gewicht
Angolul:	Sűrűség = Density Fajsúly = Specific gravity
Franciául:	Sűrűség = Masse volumique Fajsúly = Poids spécifique

Egyéb kifejezések németül

Anyagsűrűség =	Reindichte
Testsűrűség =	Rohdichte
Halmazsűrűség =	Schüttdichte
Relatív sűrűség =	Relative Dichte
Térfogatsúly =	Rohwichte, Raumgewicht
Halmazsúly =	Schüttgewicht

A sűrűség gyűjtőfogalom, ami az egységnyi térfogatú test *tömegét* fejezi ki. Mértékegysége kg/m^3. Ha a tömegével adott anyag a teret pórus ❖ és hézag ❖ nélkül teljesen kitölti, akkor a tömeg/térfogat hányadost anyagsűrűségnek nevezzük. Az anyagsűrűséget a napi szóhasználatban gyakran sűrűségnek mondják. Ha a test pórusokat tartalmaz, és e pórusokat a térfogat részének tekintjük, akkor az így kiszámított hányados a testsűrűség. Ha a testek halmazának (például szemhalmaz) tömegét a halmazt befogadó térfogatra vonatkoztatjuk, tehát a térfogatból sem a pórusok, sem a hézagok térfogatát nem vonjuk le, akkor halmazsűrűségről beszélünk. Porózus anyagok esetén elméletileg fennáll, hogy: anyagsűrűség > testsűrűség > halmazsűrűség. A tömeg a földrajzi helytől független mennyiség, így a sűrűség értéke a földrajzi helytől független anyagjellemző. A sűrűségi jellemzők viszonyszámai a test tömörségét ❖, illetve porozitását ❖ adják meg.

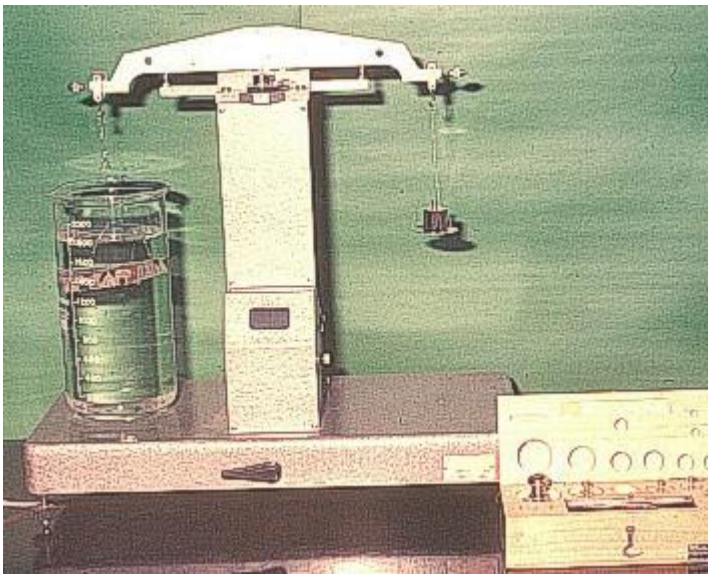
A relatív sűrűség a test anyagsűrűségének és a +4 °C hőmérsékletű víz anyagsűrűségének (1000 kg/m^3) a hányadosa, amely nevezetlen szám. Szokás az egyéb hőmérsékletű, például a +25 °C hőmérsékletű víz anyagsűrűségét (997,07 kg/m^3) is viszonyítási alapul venni.

Ha nem a test tömegét, hanem a *súlyát* vonatkoztatjuk a megfelelő térfogatra, akkor az anyagsűrűség helyett a fajsúlyt, a testsűrűség helyett a térfogatsúlyt, a halmazsűrűség helyett a halmazsúlyt kapjuk. Ezek mértékegysége N/m^3. Ellentétben a tömeggel, a súly és így a fajsúly, a térfogatsúly, a halmazsúly függvénye a nehézségi gyorsulásnak, azaz a földrajzi helynek. A súlytalanság állapotában lévő testnek gyakorlatilag nincs fajsúlya, de van anyagsűrűsége. Tekintve, hogy erő=tömeg*gyorsulás, valamely, például 2800 kg/m^3 anyagsűrűségű test fajsúlya (a tengerszinten és a 45° földrajzi szélességen) 2800*9,81=27468~28000 N/m^3.

Amíg az építőanyagtanban az építőanyagokat általában testsűrűségükkel jellemezzük, addig a statikában inkább azok fajlagos súlyával (például a térfogatsúllyal) számolnak. Az egyes szakmai ágazatokban nevezéktani eltérések is lehetnek. Például az aszfaltútépítők az olyan aszfaltok testsűrűségét, amelyekben a bitumen a porózus zúzottkövek adalékanyagvázát teljesen kitölti, hézagmentes testsűrűségnek nevezik.

Piknométer anyagsűrűség méréshez

Légpiknométer szemhalmazok testsűrűségének méréséhez



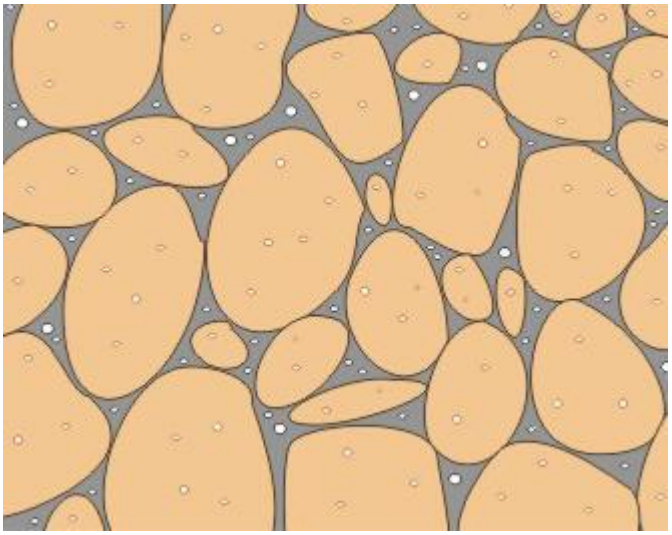
Mohr-Westphal mérleg egyedi szem testsűrűségének méréséhez

Folyadékok anyagsűrűségének mérését areométerrel végezhetjük el. A szilárd halmazállapotú testek anyagsűrűségét 0,2 mm-nél finomabb, illetve ez alá porított vizsgálati mintán szokás meghatározni tömegméréssel, és piknométeres vagy Le Chatelier-Candlot készülékes térfogatméréssel. A szabályos alakú próbatestek testsűrűségének meghatározása tömeg- és hosszméréssel, a szabálytalan alakúaké tömegméréssel, és Mohr-Westphal mérleges térfogatméréssel, szemhalmazok esetén például légpiknométeres térfogatméréssel történik. Nagypontosságú testsűrűség mérések eszközei a poroziméterek ❖. A halmazsűrűség meghatározását ismert térfogatú edénybe lazán betöltött vizsgálati minta tömegmérésével lehet elvégezni. A halmazsűrűség értékét jelentősen befolyásolja az edénybe töltött vizsgálati minta hézagtérfogata, ezért a halmazsűrűség nem tekinthető a halmaz tömörségétől független anyagjellemzőnek. A sűrűséget a vizsgálati minta kiszárított, légszáraz, vízzel telített víztartalmi állapotában ❖ szokás meghatározni.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a BETON szakmai havilap 2001. október havi számának 8. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Szövetszerkezet, szilárd test, szilárd anyag	
Németül:	Gefüge	
Angolul:	Material structure	
Franciául:	Structure des matériaux	A beton szövetszerkezetének ábrázolása

A **szövetszerkezet** (struktúra) a szilárd testben lévő anyagrészek (például ásványok, égetési vagy hidratációs termékek, stb.) elhelyezkedésének rendje, amely az anyagrészek saját tulajdonságai mellett alapvetően meghatározza a szilárd test tulajdonságait. Ha e rend leírását a szilárd testen túlmenően a szilárd testek halmazára is kiterjesztjük, akkor már nem csak szövetszerkezetről, hanem **halmazszerkezetről** is beszélünk. A szilárd és több-kevesebb pórust, hézagot, üreget tartalmazó építőanyagok, valamint alkotóik - mint például a beton, a cement, a cementkő, az adalékanyag, stb. - szövet- és halmazszerkezetének tárgyalása elkerülhetetlenné teszi a szilárd test, a szilárd anyag, a tömeg nélküli tér fogalmi megkülönböztetését.

A **szilárd test** makroszkopikus méretekkel rendelkező egység, amely szilárd anyagból és több-kevesebb tömeg nélküli térből áll. Szilárd test a gyakorlatunkban a szilárd halmazállapotú építőanyag, például beton, habarcs, égetett mész darab, kavics-szem, homok-szem, zúzottkő-szem, stb., vagy a szilárd halmazállapotú építési célú termék, például előregyártott beton- vagy vasbetonelem. Szilárd testek halmaza például a cement, az őrölt égetett mész, a kőliszt, a homokos kavics, a duzzasztott agyagkavics, a szárazhabarcs, stb., amelyek közül a finomabbakat akár szilárd anyagok halmazának is nevezhetnénk.

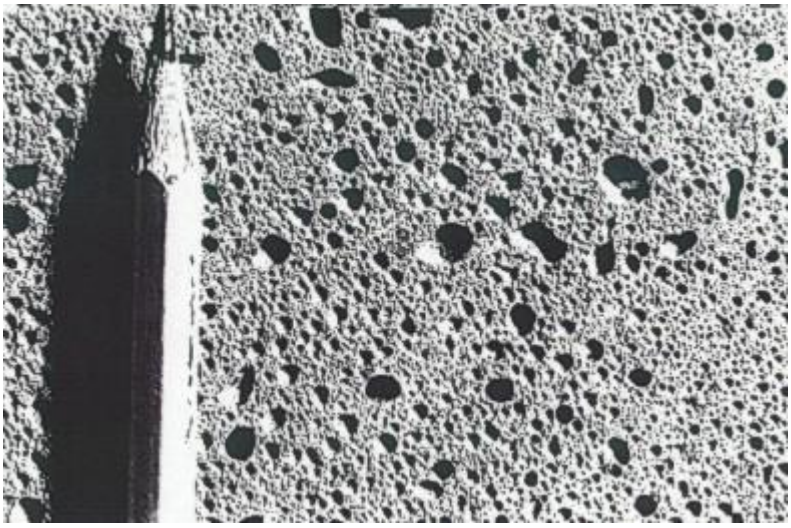
A **szilárd anyag** a szilárd test mikroszkopikus méretekkel rendelkező olyan egysége, amely tömeg nélküli teret lényegében nem tartalmaz. Ennek része a kémiailag kötött, el nem gőzölhető víz ❖ is. Szilárd anyag a gyakorlatunkban például az anyagsűrűség ❖ meghatározása céljára laboratóriumban 0,2 mm alá porított betonporszem, kavicsporszem, homokporszem, stb., illetve az ennél a méretnél eleve finomabb szemű cement-szem, őrölt égetett mész-szem, kőliszt-szem, stb.

A szilárd testben vagy a szilárd testek halmazában lévő, szilárd anyaggal ki nem töltött, különböző, **tömeg nélküli terek** elnevezése méretüktől, mennyiségüktől, elhelyezkedésüktől, keletkezésüktől függően: pórus (beleértve a légbuborékot is), sejt, hézag, üreg, stb. ❖. E tömeg nélküli terekben gázállapotú anyag (többnyire levegő) vagy elgőzölhető víz ❖, folyadék található. Tulajdonképpen ide sorolható a repedés ❖ is.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2001. december havi számának 12. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Tömörség és porozitás	
Németül:	Dichtigkeit (tömörség) Porosität (porozitás) Hohlraumgehalt (hézagtérfogat)	 Homok adalékanyagú habbeton szövetszerkezete. Anyagsűrűség: 2600 kg/m^3; testsűrűség: 950 kg/m^3; tömörség: 0,365; porozitás: 0,635. (SZIKKTI fényképfelvétel)
Angolul:	Density (tömörség) Porosity (porozitás) Void volume (hézagtérfogat)	
Franciául:	Densité (tömörség) Porosité (porozitás) Porosité intergranulaire (hézagtérfogat)	

A tömörség és a porozitás elsősorban a szilárd testek ❖ térkitöltési viszonyainak jellemzésére használatos fogalom. A szilárd testet tömegével képviselt szilárd anyag ❖ (beleértve az el nem gőzölhető vizet ❖ is) és több-kevesebb, gázállapotú anyaggal (többnyire levegővel) vagy elgőzölhető vízzel ❖, folyadékkal kitöltött, tömeg nélküli pórus alkotja. A fogalom szempontjából közömbös, hogy a szilárd testben vagy a szilárd testek halmazában szilárd anyaggal ki nem töltött, tömeg nélküli teret pórusnak (beleértve a légbuborékot is), sejtnek, hézagnak, üregnek, stb. ❖ nevezzük.

A tömörség és a porozitás az anyag és a pórusok térfogatának a test térfogatára vonatkozó viszonyszáma. Mértékegysége gyakorlatilag nincs (térfogat/térfogat), azaz nevezetlen szám. A tömörség és a porozitás 0 és 1 közé eső szám, de a tömörség 0 és a porozitás 1 értékű nem lehet. Adott test esetén a tömörség és porozitás összege 1, százalékban kifejezve 100 térfogat%. Ha a test tömörsége tart az 1-hez, akkor porozitása a 0-hoz tart. A testet tömörnek mondjuk, ha a tömörsége 1 és a porozitása 0, egyéb esetben pedig porózus testről beszélünk.

A tömörség és porozitás fogalma nemcsak szilárd testre, hanem szilárd testek halmazára (szemhalmaz ❖) is értelmezhető, de míg a fogalom szilárd test esetén anyagjellemző, addig halmaz esetén a halmaz tömörítettségétől függő állapotjellemző is, amelyet a szemek közötti hézagok változó térfogata befolyásol.

A test vagy a halmaz tömörségét, illetve porozitását a sűrűségi ❖ jellemzők viszonyszámai fejezik ki:

- Tömörség = Testsűrűség / Anyagsűrűség = (Anyag térfogata) / (Test térfogata) = 1 - Porozitás
- Porozitás = (Anyagsűrűség - Testsűrűség) / Anyagsűrűség = (Pórusok térfogata) / (Test térfogata)
- Halmaztömörség = Halmazsűrűség / Testsűrűség = (Halmaz szemeinek térfogata) / (Halmazt befogadó tér térfogat) = 1 - Hézagtérfogat
- Hézagtérfogat = (Testsűrűség - Halmazsűrűség) / Testsűrűség = (Szemek közötti hézagok térfogata) / (Halmazt befogadó tér térfogat)
- Abszolút halmaztömörség = Halmazsűrűség / Anyagsűrűség = (Anyag térfogata) / (Halmazt befogadó tér térfogata) = 1 - Halmazporozitás
- Halmazporozitás = Összporozitás = (Anyagsűrűség - Halmazsűrűség) / Anyagsűrűség = (Szemekben lévő pórusok és a szemek közötti hézagok térfogata) / (Halmazt befogadó tér térfogata)

A *látszólagos porozitás* nem a sűrűség jellemzőkből számított, hanem a test vízfelvételéből meghatározott érték ❖, ami a *nyílt porozitás* (németül: Offene Porosität) közelítő értéke.

A test porozitását a pórusstruktúra ❖, azaz a pórusok száma, mérete, eloszlása, jellege befolyásolja, ami például poroziméterrel vagy optikai módszerrel határozható meg.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. január havi számának 13. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás, vízfelszívás	
Németül:	Wassergehalt (víztartalom), Wasseraufnahme (vízfelvétel), Wasseraufsaugen (vízfelszívás)	A beton kapilláris vízfelszívása
Angolul:	Water-content (víztartalom), Absorption of water (vízfelvétel), Hydroscopicity (vízfelszívás)	
Franciául:	Teneur en eau (víztartalom), Absorption d'eau (vízfelvétel) Succion d'eau (vízfelszívás)	

A **víztartalom** valamely szilárd test (például építőanyag) ❖ hidrotechnikai állapotjellemzője ❖. Szokták nedvességtartalomnak is nevezni. Értéke adott időponthoz tartozik. Valamely test víztartalma az adott időpontban a test pórusaiban lévő (elgőzölhető) víz ❖ mennyiségének és a kiszárított test ugyanolyan mértékegységű mérőszámának a ❖ hányadosa. A víztartalmat kétféle módon lehet megadni aszerint, hogy tömegeket vagy térfogatokat viszonyítunk egymáshoz, azaz a víz és a test mennyiségét kg-ban, vagy m^3-ben fejezzük ki. Ha a hányadost 100-zal megszorozzuk, akkor a mértékegység tömeg% vagy térfogat% lesz. Ha például valamely, kiszárított állapotban 2000 kg/m^3 testsűrűségű ❖ testből 40 kg (0,04 m^3) víz gőzölhető el, akkor a test víztartalma 2 tömeg% illetve 4 térfogat%.

Adott esetben a test halmaz is lehet (például homokos kavics), ilyenkor a halmaz víztartalmáról beszélünk, és az elgőzölhető víz alatt a szemek pórusaiban lévő ilyen víznek és a szemek közötti hézagokban lévő víznek az összegét értjük.

Az építőanyagiparban néha előfordul, hogy gyakorlati okokból az elgőzölhető víz tömegét nem a kiszárított halmaz, hanem a vizes állapotban lévő halmaz tömegére vonatkoztatják. Ha például valamely 800 kg/m^3 halmazsűrűségű ❖ pernye halmaznak adott időpontban a kiszárított halmazra vonatkoztatott víztartalma 50 tömeg%, akkor a vizes állapotú halmazra vonatkoztatott víztartalma csak 33,3 tömeg%, tehát az eltérés jelentős. Voltaképpen mind a két adat helyes, csak a víztartalom fogalmának értelmezésében van különbség.

Szokás a test légszáraz állapotban mért víztartalmát *alapvíztartalomnak* nevezni.

A **vízfelvétel (vízfelvevőképesség)** a test víztartalmának lehetséges legnagyobb értéke, és ezért anyagjellemző. A vízfelvétel a vízzel telített test víztartalma, amelyet a víztartalomhoz hasonlóan tömegarányban vagy tömeg%-ban, és térfogatarányban vagy térfogat%-ban lehet megadni. Vizsgálatához a testet általában légköri nyomáson és fokozatos vízszintemeléssel tömegállandóságig ❖ vízzel kell telíteni, majd tömegállandóságig ki kell szárítani, és az elgőzölgött víz mennyiségét a kiszárított test tömegére vagy térfogatára kell vonatkoztatni.

Szokás a légszáraz állapotú test vízfelvételét *mértékadó vízfelvételnek* nevezni. A vízfelvétel az alapvíztartalom és a mértékadó vízfelvétel összege.

A térfogatarányban vagy térfogat%-ban kifejezett vízfelvétel a **látszólagos porozitás**. Értelmezéséhez feltételezzük, hogy a víztelítés során a testben lévő minden pórus ❖ megtelik vízzel, és akkor a felvett víz térfogata a pórusok térfogatával egyenlő. A látszólagos porozitás mért értéke gondos, vákuumkamrás

víztelítés esetén a *nyílt porozitás* (németül: Offene Porosität) jó közelítése. A test látszólagos porozitását megkapjuk, ha a test tömegarányban kifejezett vízfelvételét megszorozzuk a test vizsgálati hőmérsékleten értelmezett relatív testsűrűségével. A test relatív testsűrűsége nevezetlen szám, amely azt mutatja meg, hogy a test testsűrűsége hányszorosa a vizsgálati hőmérsékletű víz sűrűségének. Ha például a 2400 kg/m^3 testsűrűségű beton tömegarányban kifejezett vízfelvétele 0,05, és a vízfelvételmérés 20,5 °C hőmérsékletű, 998,126 kg/m^3 sűrűségű vízzel történt, akkor a test relatív testsűrűsége 2400/998,126=2,40451 és látszólagos porozitása 0,05*2,40451=0,1202 illetve 12,02 térfogat%.

Kapilláris vízfelszívás a testnek az a tulajdonsága, hogy a testet kismélységű vízbe (folyadékba) helyezve kapillárisaiban ❖ a víz (folyadék) felemelkedik. Az emelkedés magassága egyenesen arányos a folyadék felületi feszültségével és nedvesítő képességével (nedvesedési szög), és fordítottan arányos a kapilláris sugarával, a folyadék sűrűségével, a nehézségi gyorsulással.

A témakörről, ha ide kattint, a Noteszlapok “Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás” című oldalán egyéb érdekességeket is olvashat.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. február havi számának 18. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Pórusszerkezet	
Németül:	Porenstruktur	Optikai berendezés a póruseloszlás mérésére (SZIKKTI fényképfelvétel)
Angolul:	Pore structure	
Franciául:	Structure de pore	

A pórus, a sejt ❖, a hézag ❖, az üreg ❖ a szilárd testben ❖ vagy a szilárd testek halmazában lévő, *szilárd anyaggal ❖ ki nem töltött, tömeg nélküli, különböző terek* elnevezései, amelyekben gázállapotú anyag (többnyire levegő) vagy elgőzölhető víz ❖, folyadék található. E tömeg nélküli tereket méreteik, mennyiségük, elhelyezkedésük, keletkezésük alapján különböztetjük meg.

A *beton (vagy habarcs)* pórusaira az 1 mm alatti átmérő jellemző, összességüket pórusszerkezetnek nevezzük. A **pórusszerkezet** az adalékanyag és a cementkő ❖ pórusaiból áll. A cementkő pórusai általában *nyitottak*, fajtái: légpórusok, esetleg légbuborékok, továbbá kapillárpórusok és gélpórusok.

Az **adalékanyag pórusai** (németül: Kornporen, Eigenporen) az adalékanyag ❖ szemekben helyezkednek el, és a beton testsűrűségére, vízfelvételére, szilárdságára, hővezetési tényezőjére vannak hatással.

A **légpórusok** (németül: Verdichtungsporen) a szilárduló cementkőben akaratunk ellenére, de gondos tömörítés mellett is visszamaradó, viszonylag nagyobb méretű, esetleges elrendeződésű pórusok. (Az olyan betont, amelyben a pórusok átmérője az 1 mm-t erősen meghaladja és keletkezésük gondatlan tömörítésre vezethető vissza, fészkes betonnak mondják.)

A **légbuborékok** (németül: Luftporen) a beton fagyállóságának, olvasztósó-állóságának javítására légbuborékképző adalékszerrel ❖ a cementkőben tudatosan létrehozott, közel gömb alakú, egymástól független pórusok. A légbuborékok azáltal fejtik ki hatásukat, hogy megszakítják a kapillárpórusokat, és ezáltal egyrészt csökkentik a cementkő vízfelszívását, másrészt helyet adnak télen a megfagyó kapilláris víz ❖ térfogat-növekményének. A légbuborék-eloszlásra követelmény, hogy az ún. távolsági tényező, azaz a cementkő bármely pontjától a hozzá legközelebb eső légbuborék felszínének távolsága nem lehet több, mint 0,2 mm.
A légbuborékképző-szerrel készített frissbeton összes levegőtartalma 4-6 térfogat%, a 28 napos korú légbuborékos beton nyomószilárdsága a légbuborékképző-szer nélküli beton nyomószilárdságának legalább 75 %-a.

A cementkőben lévő **kapillárpórusok** (németül: Kapillarporen) a keverővíz mennyiségétől függően keletkeznek. A cement hidratációja ❖ során a cementkőbe legfeljebb a cement 35-40 tömeg%-át kitevő vízmennyiség épül be, ami 0,35-0,40 értékű víz-cementtényezőnek felel meg. Ha a beton ennél több vízzel készül, akkor a vízfelesleg finom, hajszálcsöves, gyakran összefüggő pórusrendszert hoz létre, amelynek

alkotói a beton felületére is kivezető kapillárpórusok. A kapillárpórusok mennyiségének növekedésével a cementkő
és a beton minősége romlik. A kapillárpórusokat egyszerűen *kapillárisoknak* is szokták nevezni.

A **gélpórusok** (németül: Gelporen) a hidratált cementszemcsén belül, a cementgélben helyezkednek el, és a cementgéllel együtt a cement hidratációja folyamán keletkeznek. A cementgél teljesen össze nem növő tábla-, lemez-, szálalakú hidratációs termékekből áll, amelyek között a gélpórusok találhatók. A gélpórusok a folyadékokat és a gázokat gyakorlatilag nem eresztik át. A cement hidratáció előrehaladtával a hidratációs termékek mennyisége növekszik, a gélpórusok mennyisége csökken.

A cementkőben lévő pórusok hozzávetőleges átmérője:

Megnevezés	Átmérő	Felhasznált irodalom:
Légpórusok	10 - 1000 µm = 10^{-2} - 1 (10^{0}) mm	Palotás László - Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 2. és 3. kötet. Akadémiai kiadó. Budapest, 1979-1980.
Légbuborékok	Ł 300 µm = 0,3 mm	
Kapillárpórusok	0,1 - 10 µm = 10^{-4} - 10^{-2} mm	
Gélpórusok	0,001 - 0,1 µm = 10^{-6} - 10^{-4} mm	

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. április havi számának 14. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Elgőzölhető és el nem gőzölhető víz	
Németül:	Verdampfbares Wasser (elgőzölhető víz) Unverdampfbares Wasser (el nem gőzölhető víz)	 Vákuum szárítószekrény az elgőzölhető víz eltávolításához (SZIKKTI fényképfelvétel)
Angolul:	Evaporable water (elgőzölhető víz) Non-evaporable water (el nem gőzölhető víz)	
Franciául:	Eau évaporable (elgőzölhető víz) Eau non-évaporable (el nem gőzölhető víz)	

E fogalmakat elsősorban a cementkőben ❖ található víz tulajdonságainak leírására használjuk, de értelemszerűen más építőanyagok hidrotechnikai állapotának jellemzésére is alkalmazhatjuk.

A cementkőben lévő víz egy része a hidratált cementszemcsék közötti pórusokat, hézagokat tölti ki, ezt pórusvíznek hívják, más része kémiailag kötött állapotban van, ennek kémiailag kötött víz a neve. E kétféle víz gyakorlati megkülönböztetésére vezette be 1948-ban *Powers* és *Brownyard* az elgőzölhető és az el nem gőzölhető víz fogalmát.

Az **elgőzölhető** (elgőzölöghető, elgőzölögtethető) **víz** az a víz, amelynek gőznyomása 23 °C hőmérsékleten nagyobb, mint $6*10^{-4}$ Torr (=79,99 N/m^2 = $7,89*10^{-7}$ atm). Ez lényegében annak a víznek felel meg, amely 105-110 °C hőmérsékletű szárítás során a testből eltávozik. A cementkőből elgőzölhető víz, - más néven a pórus víz - szabad vízből, kapilláris vízből és gélvízből áll.

Az elgőzölhető víz egyik, legmozgékonyabb része az ún. szabad víz, amely a hidratált cementszemcsék közötti pórusokban található. Kötőereje viszonylag gyenge, a szabad víz molekulák akár el is párologhatnak. Előfordul (például a német szakirodalomban), hogy a kapilláris víztől nem különböztetik meg.

Az elgőzölhető víz másik része az ún. kapilláris víz, amely a nagyobb kapillárisokban helyezkedik el. A kapilláris víz a vízmolekulák hidrogénhíd-kötése és a kapilláris erők folytán vízfilmet képez a kapilláris falán. A kapilláris víz tulajdonképpen szabad vízként viselkedik, bár mozgása a kapilláris felületi feszültségek miatt a szabad vízénél nehezebb, de éppen a felületi feszültségek hatására a nehézségi erő ellenében a kapillárpórusban ❖ felemelkedni képes. Ha a levegő relatív páratartalma ❖ 40 %-nál kisebb, akkor a cementkő nem tartalmaz sem szabad, sem kapilláris vizet. Fagyhatás esetén a kapilláris víz (sótartalmától függően) általában -3 °C hőmérséklet alatt megfagy.

A cementkő gélpórusaiban ❖ lévő ún. gélvíz az elgőzölhető víz harmadik része. A gélvíz többnyire egy molekula vastagságnyi rétegben tapad a hidratációs termékek felületéhez fizikai adszorpcióval (folyadék vagy gáz kapcsolódása szilárd test felületéhez), ezért *fizikailag kötött víznek* is hívják. A gélvíz kötőereje majdnem eléri a kémiailag kötött víz kötődését, ezért e kapcsolatot a szakirodalomban olykor kémiai adszorpciónak nevezik. A gélvíz mennyisége a levegő páratartalmától és a hidratációs foktól ❖ függ, a

cement tömegének 10±5 %-át teszi ki. A gélvíz felületén nagy felületaktív erők működnek, ezért fagyhatás során a gélvíz csak mintegy -78 °C hőmérsékleten fagy meg.

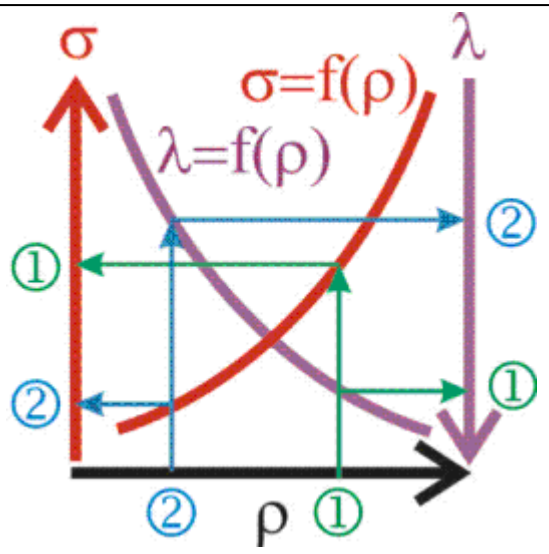
Az **el nem gőzölhető víz**, más néven a *kémiailag (szerkezetileg) kötött víz* a hidratáció során épül be a cementkőbe, és 105-110 °C hőmérsékletű szárítás után is a cementkőben marad. Az el nem gőzölhető vizet a (pórus mentes) szilárd anyag ❖ alkotó elemének tekintjük. A kémiailag kötött víz mennyisége a cement mennyiségének legalább mintegy 15-18 tömeg%-a.

Felhasznált irodalom: Palotás László - Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 2. és 3. kötet. Akadémiai kiadó. Budapest, 1979-1980.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. május havi számának 16. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Sejtszerkezet, sejtbeton	
Németül:	Porenbeton (sejtbeton), Gasbeton (gázbeton), Schaumbeton (habbeton)	 A testsűrűség hatása a nyomószilárdságra és a hővezetési tényezőre
Angolul:	Cellular concrete (sejtbeton), Gas concrete (gázbeton), Foam-concrete (habbeton)	
Franciául:	Béton cellulaire (sejtbeton), Béton-gaz (gázbeton), Béton mousse (habbeton)	

A pórus ❖, a légbuborék ❖, a sejt, a hézag, az üreg a szilárd testben ❖ vagy a szilárd testek halmazában lévő, *szilárd anyaggal ❖ ki nem töltött, tömeg nélküli, különböző terek* elnevezései. E tömeg nélküli terekben gázállapotú anyag (többnyire levegő) vagy elgőzölhető víz ❖, folyadék található.

A **sejtszerkezet** tudatosan létrehozott sejtek (de nem légbuborékok ❖) rendszere, amely a (cementes) mészhabarcsból vagy cementpépből előállított **sejtbeton** sajátja. A sejtbeton finom adalékanyaggal (esetleg csak cementből) készülő *könnyűbeton* ❖. A sejtbetonok előállítása lényegében a mészhomoktégla ❖ gyártás technológiájából fejlődött ki úgy, hogy a mészhomoktégla viszonylag tömör szerkezetét különböző sejtképző anyagok és módszerek alkalmazásával sejtesítették.

Legfeljebb 2 mm átmérőjű, zárt sejtekből álló sejtszerkezetet állítható elő:

- gázképzővel, amely esetben a sejtbetont **gázbetonnak** ❖ nevezzük. A régebbi nevezéktan (XX. század első kétharmada) szerint a gázbeton a gázképzővel és cement kötőanyaggal készített sejtbetont, a gázszilikát a gázképzővel és mész kötőanyaggal készített sejtbetont jelentette. Gázképzőként régebben például hidrogén-peroxidot (H_2O_2) használtak, amely klórmésszel ($CaCl_2O$) összekeverve oxigéngázt (O_2) fejleszt, vagy kalcium-karbidot (CaC_2) alkalmaztak, amelyből víz hatására acetiléngáz (C_2H_2) keletkezik. A legelterjedtebb, ma is használatos gázképző az alumíniumpor vagy -paszta, amely a mészhidrát ($Ca(OH)_2$) vizes oldatából hidrogéngázt fejleszt a friss, cementes mészhabarcsban, amely őrölt égetett mészből, őrölt gipszkőből, cementből, pernyéből vagy őrölt kvarchomokból, és vízből áll. A sejtesített, előérlelt gázbetont autoklávolással ❖ szilárdítják, szilárdságát a kémiai folyamat hatására kialakuló kalcium-hidro-szilikátok adják. Ma a gázbeton-termékeket üzletpolitikai meggondolásból mind a kereskedelemben, mind a szabványosításban *pórusbetonnak* ❖ nevezik.

- habképzővel, amellyel nyert sejtbetont **habbetonnak** ❖ nevezzük. A régebbi nevezéktanban a habbeton a habképzővel és cement kötőanyaggal készített sejtbetont, a habszilikát a habképzővel és mész kötőanyaggal készített sejtbetont jelentette. A legelterjedtebb habképzők az enyvgyantás, a gyantás szaponinos, az alumoszulfonát, a hidralizált vér, a hidralizált keratin habképzők, és újabban más, szintetikus anyagok. A habbetonok kötőanyaga cement, adalékanyaga homok. A habképzőt vagy az előre felvert habot a friss habarcshoz, esetleg cementpéphez szokás gyorsjáratú kényszerkeverőgépben keverni. A habbeton transzportbetonként szállítható, szivattyúzható. A habbetonokból általában természetes szilárdítású, monolit hőszigetelő rétegek készülnek.

Ha a sejtszerkezetet nagy mennyiségű vízzel, a felesleges víz elpárologtatásával hozzuk létre, akkor **mikroporitról** beszélünk. A mikroporit előállítási módján túl annyiban is különbözik a gázbetontól és a habbetontól, hogy a mikroporit sejtszerkezete szabad szemmel nem látható, és a kis méretű sejtek egymással összefüggőek. Gyártása elsősorban a mikroporit gyenge tulajdonságai és nagy zsugorodási hajlama miatt a gyakorlatban nem terjedt el.

A sejtbetonok jó hőszigetelők, hőszigetelő-képességük ❖ testsűrűségük ❖ csökkenésével javul, miközben nyomószilárdságuk ❖ csökken. A sejtbetonok testsűrűségét a sejtképzőszer adagolásával és a gyártási technológia módosításával lehet megváltoztatni. Valamely sejtbeton összetételének megválasztása a megfelelő testsűrűség (ρ), hővezetési tényező (λ) és nyomószilárdság (σ) közötti kompromisszum alapján történhet meg.
A fenti, ezt bemutató ábrán az j a rossz, a k a jó hőszigetelő-képességű sejtbeton esete.

Felhasznált irodalom:

Palotás László: Építőanyagok. II. kötet. Akadémiai Kiadó. 1961.

Palotás László - Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Akadémiai kiadó. Budapest, 1980.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

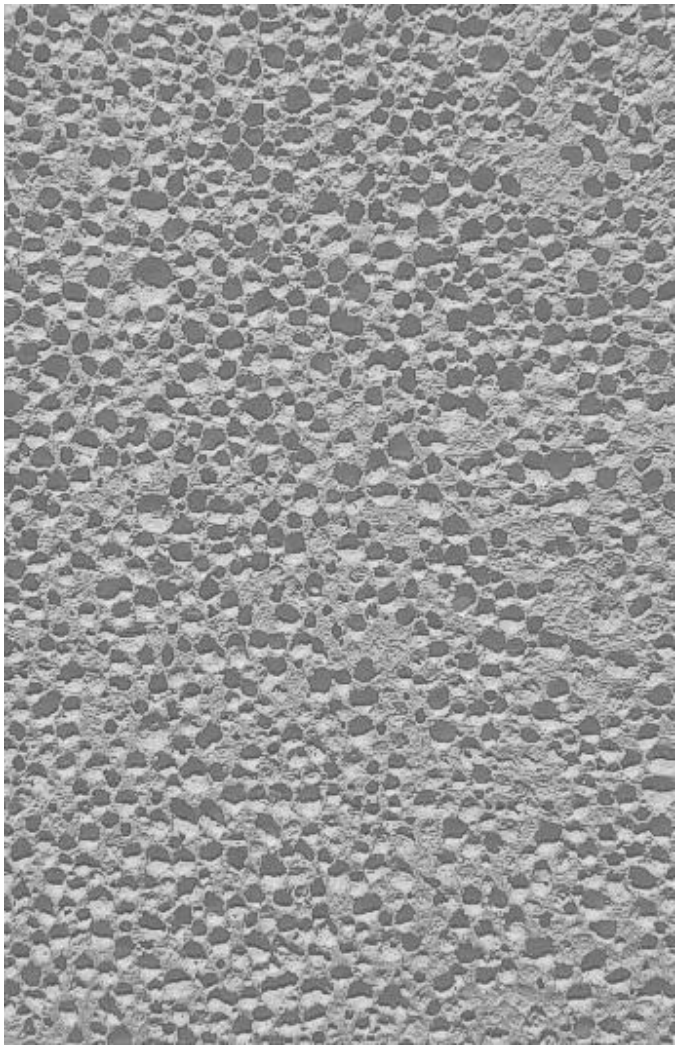
Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. június havi számának 9. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Gázbeton, pórusbeton

Németül:	Gasbeton (gázbeton), Porenbeton (pórusbeton)
Angolul:	Gas concrete (gázbeton)
Franciául:	Béton-gaz (gázbeton)

Építkezés homokalapú gázbeton (pórusbeton) falazóelemekkel



A gázbeton szövetszerkezete

Gázbetonnak a sejtesített könnyűbetonok ❖ egyik fajtáját, a gázképzővel előállított sejtbetont ❖ nevezzük. Ma a gázbeton-termékeket üzletpolitikai meggondolásból mind a kereskedelemben, mind a szabványosításban német mintára **pórusbetonnak** hívják. Alapanyaga az őrölt égetett mészből, őrölt gipszkőből, cementből, pernyéből vagy őrölt kvarchomokból, régebben égetett olajpala-őrleményből, és vízből kevert, megfelelő gázképzőt is tartalmazó finomhabarcs. Gázképzőként ma leggyakrabban alumíniumport vagy -pasztát használnak, amely az őrölt égetett mész beoltódásából keletkező mészhidrát ($Ca(OH)_2$) vizes oldatából hidrogéngázt fejleszt, és a nyers keverékben legfeljebb 2 mm átmérőjű, zárt pórusok sokaságát hozza létre. Az öntőformában sejtesített és előérlelt gázbetontömböt kizsaluzás és termékméretre való felvágás után autoklávolással ❖ szilárdítják. Az autoklávolás ideje 10-12 óra, a telített vízgőz-tér nyomása 8-12 bar, hőmérséklete 170-190 °C, amelynek hatására a gázbetonban - annak szilárdságát adó - kalcium-hidro-szilikát ásványok alakulnak ki. Ennek során tobermorit ($5.CaO•3.SiO_2•5.H_2O$) kristályok is képződnek, amelyek a természetben (például Uzsabányán) és a cementkőben ❖ is megtalálhatók.

A gázbeton testsűrűsége 400-800 kg/m^3, nyomószilárdsága 2,5-7,5 N/mm^2, hővezetési tényezője 0,12-0,25 W/mK, porozitása a 70 térfogat%-ot, vízfelvétele a 60 tömeg%-ot is elérheti. Nem-éghető építőanyag. Gázbetonból kis testsűrűsége és jó hőszigetelőképessége folytán elsősorban falazóelemeket gyártanak, amelyekből készült falszerkezet törőszilárdsága az elem szilárdsági osztályától és a falazás minőségétől függően 1,6-4,8 N/mm^2. A legalább 700 kg/m^3 testsűrűségű gázbetonból vasalt fal-, tető- és födémpallók, lépcsők, feszített födém-kéregpallók is előállíthatók.

A gázbetont *Dr. Johan Axel Eriksson* svéd építész fejlesztette ki azzal a szándékkal, hogy az épületfát kedvező tulajdonságú, nem éghető és nem korhadó építőanyaggal váltsa ki. Találmányát 1924-ben szabadalmaztatta. Gyártását Ytong (“Yxhult Betong” szóösszetétel rövidítése) néven 1929-ben kezdte el Svédországban az egyébként kőzetek feldolgozására 1878-ban alapított Yxhults Stenhuggeri AB cég, amelynek szakirányú utóda, az Ytong AG. A számos országban gázbetongyárral rendelkező társaság 1983-ban tette át székhelyét Svédországból Münchenbe, és 1992 óta tulajdonosa a gyöngyösvisontai pórusbetongyárnak is. Az Ytongon kívül számos más gázbetongyártási technológia is teret hódított (Hebel, Siporex, Dorstener, Durox, Calsilox, Peja, stb.). Magyarországon 1963-1998 között működött a kazincbarcikai gázbetongyár, amely lényegében lengyel technológiával a kazincbarcikai erőmű pernyéjéből állított elő szürke színű gázbetont. Az egyetlen mai magyarországi gázbetongyár, a gyöngyösvisontai pórusbetongyár Hebel technológia beépítésével 1985-ben létesült, eleinte pernyealapú pórusbetont állított elő, 1990 óta kizárólag homokalapú, fehér színű pórusbeton termékeket gyárt. Saját homok+gipszkő őrlő malommal rendelkezik, az égetett meszet őrölt alakban vásárolja, alumíniumpasztával dolgozik. A gyöngyösvisontai Ytong pórusbetongyár termékei: síkfelületű és megfogóhornyos falazóelemek, zsaluelemek, válaszfalelemek, válaszfal áthidalók, előfalazólapok, hőszigetelt koszorúelemek és hőszigetelőlapok.
A magyar gázbetongyárak 1992-ig az állami Könnyűbeton és Szigetelőanyagipari Vállalat (Köszig) tulajdonában voltak.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. július-augusztus havi számának 25. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Könnyűbeton

Németül:	Leichtbeton
Angolul:	Lightweight concrete
Franciául:	Béton léger

Az adalékanyagos könnyűbeton és a közönséges beton törési felületének összehasonlítása:

Duzzasztott perlit beton próbakocka

Jelmagyarázat:

❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Duzzasztott agyagkavics beton törési felülete.

Az agyagkavics eltörik, mert szilárdsága a cementkőénél kisebb.

Kavicsbeton törési felülete.

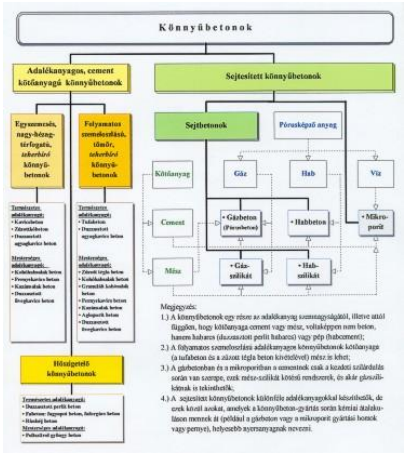
A kavics nem törik el, inkább kifordul, mert szilárdsága a cementkőénél nagyobb.

Könnyűbetonnak hagyományosan (például Magyarországon, Németországban) az adalékanyaggal készített nagy-hézagtérfogatú ❖ és tömör, teherbíró, és/vagy hőszigetelő, 2000 kg/m^3-nél kisebb testsűrűségű ❖ betonokat, és a (cementes) mészhabarcsból, cementpépből, cementhabarcsból sejtesítéssel előállított betonokat ❖ nevezik. Az adalékanyagos, teherbíró (teherhordó) könnyűbetonok testsűrűsége 600-2000 kg/m^3 (MSZ 4719:1982), a sejtesített betonoké legfeljebb 1000 kg/m^3. Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány könnyűbetonnak csak a folyamatos szemeloszlású adalékanyagos könnyűbetonokat tekinti, amelyek testsűrűsége 800-2000 kg/m^3 közé, nyomószilárdsági osztálya ❖ pedig LC 8/9 - LC 80/88 közé esik.

A könnyűbetonokat többféle szempont szerint lehet rendszerbe foglalni.

Legelterjedtebb az alapanyagok és előállítás szerinti megkülönböztetés, ami a következő ábrával fejezhető ki:

A kinagyításhoz szíveskedjék az ábrára kattintani.



Az ábra alapján a könnyűbetonok két fő csoportja az *adalékanyagos*, cement (esetleg mész) kötőanyagú könnyűbetonok és a *sejtesített* könnyűbetonok. Az adalékanyagos könnyűbetonok legegyszerűbben a könnyű-adalékanyagok ❖ fogalom-meghatározásaival írhatók le, míg a sejtesített könnyűbetonok közül a két legjelentősebb sejtbeton, a gázbeton ❖ és a habbeton ❖ fogalmát érdemes külön tárgyalni.

A könnyűbetonok alkalmazhatósága fizikai, mechanikai tulajdonságaik függvénye. A következő táblázat a testsűrűség, a nyomószilárdság, a hővezetési tényező alapján a tulajdonságok illetve az alkalmazhatóság szerinti besorolásra mutat példát.

Könnyűbetonok besorolása tulajdonságuk illetve alkalmazhatóságuk szerint**

		Testsűrűség kg/m³	Nyomószilárdság, N/mm²						Hővezetési tényező W/mK
			< 2,5	2,5 - 5,0	5,0 - 7,5	7,5 - 10	10 - 15	15 <	
			Hőszigetelő könnyűbetonok				MSZ EN 206-1:2002 szerinti adalékanyagos, teherbíró könnyűbetonok		
	Hő-szigetelő könnyű-betonok	< 200	Polisztirol-gyöngy beton						< 0,06
		200 - 300	Duzzasztott perlit beton						0,06 - 0,09
		300 - 400	Habbeton						0,09 -0,12
		400 - 600	Fa-beton	Gázbeton (pórusbeton)					0,12 - 0,18
		600 - 800				*	*	*	0,18 - 0,25
Teherbíró könnyű-betonok	MSZ EN 206-1:2002 szerinti adalék-anyagos, teherbíró könnyű-betonok	800 - 1100			Kohóhabsalak beton és granulált kohósalak beton				0,25 - 0,38
		1100 - 1400		Egyszemcsés, nagy-hézagtérfogatú könnyűbeton					0,38 - 0,50
		1400 - 1600			Tufabeton és duzzasztott üvegkavics beton			Duzzasztott agyagkavics beton	0,50 - 0,60
		1600 - 1800							0,60 - 0,70
		1800 - 2000					Zúzott tégla beton		0,70 -0,80

Megjegyzés: *Az MSZ 4719:1982 szabvány a 600 - 2000 kg/m³ testsűrűségű adalékanyagos betonokat tekinti teherbíró könnyűbetonnak.
** A könnyűbetonok testsűrűsége, nyomószilárdsága, hővezetési tényezője jelentős mértékben eltérhet a táblázatban szereplő értékektől.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. október havi számának 3-4. oldalán

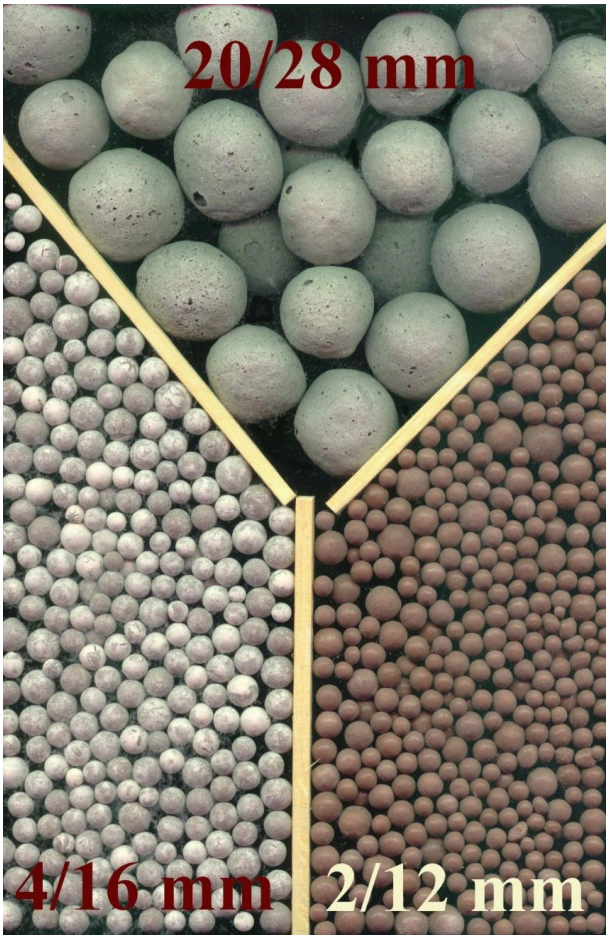
Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Könnyű adalékanyag, könnyű kőanyaghalmaz

Németül:	Leichtzuschlag
Angolul:	Lightweight aggregate (LWA)
Franciául:	Granulats légers

Duzz. agyagkavics, szemnagys.: 6/10 mm

Duzzasztott perlit, szemnagyság: 0/2 mm



Duzzasztott üvegkavics

A pórus ❖, a légbuborék ❖, a sejt, a hézag, az üreg a szilárd testben ❖ vagy a szilárd testek halmazában lévő, A könnyű adalékanyagnak többféle meghatározása lehetséges. Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint a legalább 800 kg/m^3 testsűrűségű, folyamatos szemeloszlású beton könnyű adalékanyaga ásványi eredetű, szemeinek testsűrűsége kiszárított állapotban kisebb, mint 2000 kg/m^3, halmazsűrűsége kiszárított és laza állapotban kisebb, mint 1200 kg/m^3.

A betonok és habarcsok könnyű adalékanyagaival (kőanyaghalmazaival) az MSZ EN 13055-1:2003 szabvány foglalkozik. E szabvány szerint a könnyű adalékanyag ásványi eredetű, halmazsűrűsége kiszárított és laza állapotban 30-1200 kg/m^3, anyagát tekintve természetes kőanyaghalmaz (németül: natürliche Gesteinskörnung), vagy természetes nyersanyagból, ipari melléktermékből, bontott építőanyag törmelékéből előállított szemhalmaz (kőanyaghalmaz). Jellemzői a halmazsűrűség, a szemek testsűrűsége, a szemalak, a szemeloszlás, a vízfelvétel, a szemek önszilárdsága, a térfogatállandóság, a klorid-, szulfát-, kéntartalom, az izzítási veszteség.

Az európai felfogás szerint tehát nem tartozik a könnyű adalékanyag fogalomkörébe a növényi eredetű adalékanyag, az egyszemcsés, nagy-hézagtérfogatú könnyűbeton ❖ kavics vagy zúzottkő adalékanyaga, a sejtesített könnyűbetonok ❖ adalékanyaga. Ez utóbbiak közül azokat, amelyek a könnyűbeton-gyártás során kémiai átalakuláson mennek át (például a gázbeton vagy mikroporit gyártási homok vagy pernye ❖), egyébként is helyesebb nyersanyagnak nevezni.

A következőkben röviden a jelentősebb beton és habarcs könnyű adalékanyagokat tárgyaljuk, beleértve a cellulóz tartalmú, növényi, rostos anyagokat is, de nem tekintve adalékanyagnak az ásványi, fém, műanyag eredetű, és egyéb szálakat ❖.

Tufa, azaz *vulkáni tufa.*. (Tofus latin szó, likacsos követ jelent.). A tufák magmás (eruptív) kőzetek csoportjába tartozó vulkáni törmelékes kőzetek, amelyek a vulkánokból a levegőbe röpített és ott megszilárdult lávarészekből álltak össze. Nevükben jelzőként a kiömlési (effuzív) kőzet nevét viselik (például riolittufa, dácittufa, andezittufa, bazalttufa). Magyarországon is előfordulnak (például a fenti sorrendben Bodrogkeresztúr, Tar, Szokolya, Egyházaskesző), de zúzott beton adalékanyagként csak a bodrogkeresztúri kőbányában termelik. Egyébként inkább falazókőnek vagy talajjavításra használják. Finomszemű vagy finomra őrölt változata - ha hidraulikus tulajdonságú kovasavat tartalmaz - a *trassz* (vagy trasz; Trass holland szó, ragasztóanyagot jelent), amely a portlandcementklinker mellett a trassz-portlandcementek fő alkotórésze (például CEM II/A-P 42,5). [Vendl Aladár: Geológia. Tankönyvkiadó, 1953.] (Turisták figyelmébe: http://www.fsz.bme.hu/mtsz/utleiras/kaptar.htm)

Duzzasztott agyagkavics. (Hívják keramzitnak is, ami orosz elnevezés; németül: Blähton). A duzzasztott agyagkavicsot duzzadóképes, finom eloszlásban szerves anyagot tartalmazó, leginkább jura-kori agyagok felhasználásával gyártják. Az agyagot finomra őrlik, granulálják, majd forgódobos kemencében 1200 °C feletti hőmérsékleten kiégetik. Az égetés során az agyag szerves anyag tartalma elég, a szemek megduzzadnak, felületüket megolvadt és szinterezett burok képezi. A gyártási folyamat végén a terméket osztályozzák, és általában 0/4, 4/8, 8/16 mm szemnagyságban forgalmazzák. A duzzasztott agyagkavicsból könnyűbeton falazóelemek, födémelemek, falazóhabarcsok, feltöltések készíthetők. Duzzasztott agyagkavicsot Magyarországon nem gyártanak, de import anyag (például Liapor) felhasználásával könnyűbeton termékek előállítása folyik.

Duzzasztott perlit. (Németül: expandierter Perlit; a Perle német szó, gyöngyöt jelent, de latin eredetű szónak tartják). A perlit a riolit (kiömlési, azaz effuzív kőzet) üveges módosulata. Összetétele túlnyomórészt savanyú, és kötött vizet tartalmaz. Az egyébként nagy-szilárdságú, tömött kőanyag, őrleménye hirtelen nagy hőmérsékletre hevítve megduzzad, és belőle kis-testsűrűségű, cella szerkezetű gömbök keletkeznek. Magyarország jelentős perlitkészlettel rendelkezik a Tokaj hegységben, és kisebb mennyiségben a Mátrában. A perlitet jelenleg, 1957 óta, Pálházán bányásszák. A perlitet megtörik, megszárítják, több fokozatban osztályozzák és körfolyamatban 1,6 mm alá őrlik. A nyers perlitőrleményt az országban több helyen is duzzasztják, a duzzasztási hőmérséklet általában 950-1100 °C. A duzzasztott szemek legnagyobb szemnagysága 5 mm, általában 0/0,5, 0/1, 0/2, 1/5 mm szemnagyságra osztályozzák. Felhasználják hőszigetelő perlitbetonok (ha kötőanyaga cement), perlithabarcsok (ha kötőanyaga mészpép, vagy cement és mészpép), ipari szűrők készítésére, továbbá mezőgazdasági, környezetvédelmi célra. [A magyar perlit 40 éve. SZTE-ÉTE konferencia kiadvány. 1998.]

Zúzott tégla. (Németül: rezyklierter Ziegelsplitt). Tégla anyagú építmények bontási törmelékéből ❖, töréssel, osztályozással lehet legfeljebb LC 16/18 nyomószilárdsági osztályú könnyűbeton (MSZ EN 206-1:2002) készítésére alkalmas zúzott tégla adalékanyagot előállítani. A zúzott tégla előállítására szánt építmény faláról a vakolatot a fal bontása előtt el kell(ene) távolítani. Törekedni kell arra, hogy a zúzott tégla habarcs szennyeződése legfeljebb 15 tömeg% legyen. A zúzott téglát 0/4, 4/8, 8/16, 16/24 mm szemnagyságú adalékanyag frakciókra osztályozva lehet falazóelemek gyártására használni.

Kohóhabsalak. (Németül: Hüttenbims, Hochofenschaumschlacke). A kohóhabsalakot a nyersvas gyártási nagyolvasztó olvadt salakjának habosításával állítják elő. A nagyolvasztó salak lényegében savas, vagy bázikus jellegű szilikátolvadék. Az 1000 °C feletti kohósalakba habosító tálcán 4-5 atü nyomással vizet nyomnak, amely víz a salakkal érintkezve gőzzé válik, és ezáltal a salakot habosítja. A habosított kohósalakot lehűtik, 30 mm legnagyobb szemnagyság alá aprítják és osztályozzák. A kohóhabsalak halmazsűrűsége 700-1150 kg/m^3. Hőszigetelő tulajdonságú❖ könnyűbeton falazat, födémbéléstest készítésére, valamint vízszűrésre használható.

Granulált kohósalak. (Németül: granulierte Hochofenschlacke). Ugyancsak a nagyolvasztó salakjából állítják elő. A vízárammal hűtött, lejtős csatornába juttatott olvadt salakot 4-5 atü nyomású vízzel verőlapátkerékre sodorják, ahol miközben üvegesen megdermed, 0-10 mm-es szemekre aprózódik. A granulált kohósalak halmazsűrűsége 1000-1300 kg/m^3. A granulált kohósalak könnyű adalékanyag, de ennél jelentősebb, hogy őrleménye gyengén hidraulikus tulajdonságú, amely ezért a portlandcementklinker mellett a kohósalak-portlandcementek fő alkotórésze (például CEM II/B-S 32,5).

Pernyekavics. (Németül: granulierter Aschenbims). Hőerőműveknél keletkező pernye (porszénhamu; németül Flugasche) granulálásával, majd a granulátum 1200 °C körüli hőmérsékleten való kiégetéssel állítják elő. A kiégett termék gömb alakú, nagy szilárdságú. Hazánkban nem gyártják.

Kazánsalak, azaz *szénsalak.* (Németül: Kohlenschlacke). Könnyű adalékanyagként elsősorban a vörös kazánsalakok használhatók. Általában a kazánsalak-hányókból termelik ki az üveges szerkezetű, nem mállékony anyagot, amelyet osztályozás után például könnyűbeton falazóelemek gyártására, vagy födémek feltöltésére használnak.

Agloporit. (Németül: Sinterbims). Az agloporitot széntartalmú hulladékanyagok (pernye, kazánsalak) zsugorodásig való kiégetésével gyártják. Az égetés után lehűtött anyagot aprítják és osztályozzák. Hazánkban nem gyártják.

Duzzasztott üvegkavics (nevezik habkavicsnak, habosított, ill. duzzasztott üveg-granulátumnak is; németül: granuliertes Schaumglas). Új termék, amelynek hazánkban kísérleti gyártása folyik. A hulladéküveget megőrlik, granulálják, felületképző anyaggal vonják be, majd 800-1000 °C hőmérsékleten forgócsöves kemencében kiégetik. Szemnagysága általában 1-30 mm. Az eddigi kutatási eredmények szerint alkáli-reakcióra nem érzékeny, káros összetevőket nem tartalmaz. Tatabányán a GEOFIL Kft. gyártja. [Nemes Rita - Gyömbér Csaba: Könnyűbeton adalékanyagok összehasonlító vizsgálata. TDK dolgozat. Konzulens: dr. Józsa Zsuzsanna. BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 2001. október]

Polisztirol gyöngy. (Németül: expandiertes Polystyrol). A polisztirol gyöngy duzzasztott termék, amelynek alapanyaga a kőolajból előállított, finomszemű, polimerizált, hajtógázzal adagolt sztirol, amely habosítása során eredeti térfogatának 20-50-szeresére duzzad. Az így létrejött gyöngy cellaszerkezete zárt, szemnagysága 0,5-4 mm, halmazsűrűsége 15-35 kg/m^3. Felhasználható padlók, födémek, tetők hőszigetelő betonjának, vagy hőszigetelő habarcsok könnyű adalékanyagaként. Magyarországon is gyártják (például: AUSTROTHERM Kft.).

Fagyapot, faforgács. A fagyapot (németül: Holzwolle) 200-500 mm hosszú, 0,5-5 mm széles, 0,03-0,5 mm vastag, a faforgács (németül: Holzabfall, Holzspäne) 30-400 mm hosszú, 20-30 mm széles, max. 15 mm vastag, vegyszeres kezeléssel tartósított rostos faanyag, amelyből cement-kötéssel kis testsűrűségű, hőszigetelő tulajdonságú, ún. fabetont lehet előállítani. A cementkötésű fagyapotlap (például Heraklith) testsűrűsége 380-480 kg/m^3, a cementkötésű faforgácslapé (például Durisol) 500-600 kg/m^3. A fabeton lemezekből hő-, és hangszigetelő réteget, zsaluzatot, térhatároló lapot szoktak készíteni. A fabeton termékeket Magyarországon is gyártják, például Zalaegerszegen (Heraklith); Nádudvaron (Durisol).

Rizshéj. (Németül: Reiskruste). A rizs hántolásakor keletkező rizshéj testsűrűsége 100-150 kg/m^3, felhasználásával cementkötésű sajtolt rizshéjbeton lap vagy falazóelem készíthető. A rizshéjbeton testsűrűsége mintegy 600 kg/m^3, nyomószilárdsága 3-12 N/mm^2. Alkalmazása hazánkban nem terjedt el.

Néhány könnyű adalékanyag jellemző tulajdonsága a következő táblázatban található.

	Tufa	Duzzasztott agyagkavics	Duzzasztott perlit	Zúzott tégla	Duzzasztott üvegkavics
Anyagsűrűség, kg/m^3	2500-2800	2500-2600			2050-2450
Testsűrűség, kg/m^3	1200 - 2500	650-1600		1950-2150	300-1450
Halmazsűrűség, kg/m^3		300-800	50-180	980-1250	180-900
Porozitás, térfogat%	15-50	45-75			35-85
Vízfelvétel, tömeg%	2-25	20-50		15-25	1-60
Nyomószilárdság, önszilárdság	6-80 N/mm^2 (Nyomószilárdság szabályos alakú próbatesten mérve)	1,5-10,5 N/mm^2 (20 mm-es össze-nyomódáshoz tartozó önszilárdság)		1,2-2,8 (Hummel-féle szétmorzsolódási tényező) / 1,5-4,5 N/mm^2 (A 20 mm-es összenyomódás-hoz tartozó önszilárdság)	0,5-13,0 N/mm^2 (20 mm-es össze-nyomódáshoz tartozó önszilárdság)
Könnyűbeton testsűrűsége, kg/m^3	1300-2250	800-1800	200-750	1800-1900	600-1800
Könnyűbeton nyomó-szilárdsága, N/mm^2	5-40	8-45	0,2-3,5	12-25	2-45

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2002. november havi számának 3-5. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Habbeton, habcement

Németül:	Schaumbeton (habbeton)
Angolul:	Foam-concrete (habbeton)
Franciául:	Béton mousse (habbeton)

Felhasznált irodalom:

Palotás L. - Balázs Gy.: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Laczkovits Z. - Novák Á. - Osztroluczky M.: Bau-Mix habcement alkalmazástechnikai kézikönyv. Kaposvár, 2000.

Lamprecht, H.-O. és mások: Beton Lexikon. Beton-Verlag. Düsseldorf, 1990.

DIN 4164:1951 Gas- und Schaumbeton. Herstellung, Verwendung und Prüfung. Richtlinien. (A szabvány ma is érvényes.)

E-A-B Associates: Concrete Foaming Agent. Altrincham (Anglia), 2002.

Felvert hab

Habbeton

A habbeton a sejtbetonok ❖ egyik fajtája, amelynek legfeljebb 2 mm átmérőjű, zárt sejtekből álló sejtszerkezetét habképzőszerrel állítják elő. A régebbi nevezéktanban a habbeton a habképzővel és cement kötőanyaggal készített sejtbetont, a habszilikát a habképzővel és mész kötőanyaggal készített sejtbetont jelentette. Újabban a habbeton elnevezés szinonimája a habcement, amelynek értelmezése lehet, hogy ennek a könnyű építőanyagnak a kötőanyaga habosított cementkő ❖. Német nyelvterületen a gázbetont ❖ és a habbetont együtt pórusos könnyűbetonnak (Porenleichtbeton) is nevezik, és együtt tárgyalják.

A habbeton könnyű, többnyire folyós, habarcs jellegű (tehát voltaképpen nem beton) anyag, amelynek kötőanyaga cement, adalékanyaga homok, pernye, kohósalak, duzzasztott agyagkavics, polisztirol gyöngy, de készülhet esetenként adalékanyag nélkül is (ilyenkor egyértelmű a habcement elnevezés).

A legelterjedtebb habképzők főhatóanyagai a természetes vagy mesterséges tenzidek (felületaktív anyagok). A habképzők stabilizátort is tartalmaznak, hogy a nagy levegő tartalmú habbeton sejtszerkezetét ❖ a keverés, a bedolgozás és a kötés ideje ❖ alatt is megtartsa. A habot hagyományos, gyorsfordulatú, forgószerszámos habverőgéppel vagy nagy-nyomású habképző célgéppel (aggregátorral) lehet „felverni”, és a keletkező kemény habot a megkevert friss habarcshoz, esetleg cementpéphez kényszerkeverőgépben kell hozzá keverni. Habbetont bizonyos habképzőkkel úgy is lehet gyártani, hogy a habképzőt öntik a gyorsjáratú keverőgépben lévő friss habarcshoz vagy cementpéphez. A keverési időt, - ha a habarcs keverékhez a már felvert habot keverjük, akkor a homogenizálásnak, ha a habarcs keverékbe a habképzőt öntjük, akkor a habképződésnek, - megfelelően meg kell növelni.

A habbeton sajátos konzisztenciája folytán könnyen, sokszor tömörítés nélkül is bedolgozható, transzportbetonként is szállítható, szivattyúzható. Szilárdítása általában szabad levegőn történik, de hőkezeléssel vagy gőzöléssel (8 bar = 0,8 MPa alatti nyomáson) is végezhető.

A habbetonból többnyire természetes szilárdítású, monolit hőszigetelő rétegek készülnek, de készíthetők belőle előregyártott elemek, illetve használható az üreges elemek kitöltő-anyagaként is. Alkalmazzák fagyálló és hőszigetelő kiegyenlítő, feltöltő

rétegként födémeken és lapostetőkön (lejtést adó rétegként is), aljzat rétegként ipari és sport csarnokokban, istállókban, alap és teherhordó rétegként az út-, híd- és egyéb mélyépítésben. A habbeton konzisztenciájánál fogva alkalmas üregek, felhagyott csatornák, pincék, föld alatti tartályok kiöntésére, csövek injektálására. A megszilárdult habbeton terhelés hatására nem tömörödik, ezért utak alatti közműárkok betemetésére is használható. A habbeton tulajdonságai az összetételtől függenek, amelyet az alkalmazási célnak megfelelően kell megválasztani.

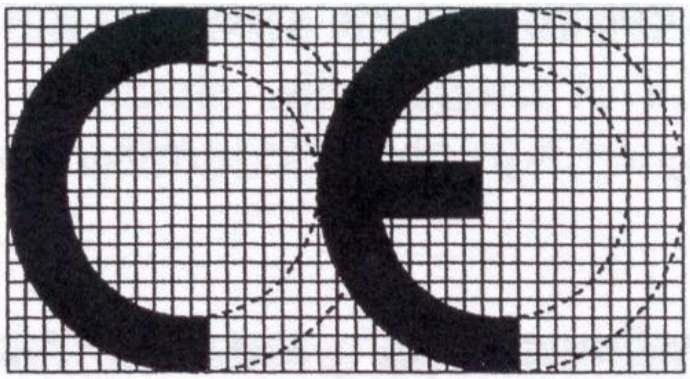
A habbeton testsűrűsége ❖ 300 - 600 (1800) kg/m^3, nyomószilárdsága ❖ 0,1 - 5,0 (15,0) N/mm^2, hővezetési tényezője 0,09 - 0,18 (0,65) W/mK, ahol a zárójeles értékek inkább egy könnyített habarcs, mint a szó szoros értelmében vett habbeton felső kategória-határai. A habbeton zsugorodási végértéke ❖ 0,8 - 3,5 mm/m között változik. 28 napos korban a zsugorodás megengedett értéke legfeljebb 0,5 mm/m. A habbetonból (vagy gázbetonból) készített előregyártott elemeket beépíteni csak akkor szabad, ha hátralévő, várható utózsugorodásuk már nem több, mint 0,5 mm/m (DIN 4164:1951). A szabad levegőn szilárdított, laza rakatokba helyezett előregyártott elemek ezt az állapotot két-három havi tárolás után érik el.

Habbetont először Bayer dán mérnök készített 1924-ben, ma szerte a fejlett világban használják, Magyarországon gyártására Kaposvárott, 1989-ben alakult meg a BauMix Kft.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. január havi számának 10. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Harmonizált európai szabvány	
Németül:	Harmonisierte europäische Norm	 CE jel, a termékek EU irányelvek (direktívák) szerinti megfelelőségét jelölő szimbólum
Angolul:	Harmonized european standard	
Franciául:	Norme européenne d'harmoniques	

A harmonizált szabvány többértelmű fogalom, a régi értelmezés általánosnak (horizontális értelmezés), az új különlegesnek (vertikális értelmezés) tekinthető.

A régi, általános értelmezés szerint „a *harmonizált szabványok* ugyanarra a tárgyra vonatkozó, különböző szabványosító szervek által jóváhagyott szabványok, amelyek termékek, eljárások vagy szolgáltatások csereszabatosságát vagy az e szabványok szerint végzett vizsgálatok eredményeinek, illetve az e szabványok szerint szolgáltatott információ kölcsönösen azonos értelmezését eredményezik.” (Kondor István szerk.: Mi micsoda a minőségügyben? GTE Ipari Minőségi Klub, Budapest, 1997.) Eszerint a régi, a köznapi szóhasználatnak is megfelelő megközelítés szerint tehát a szóban forgó szabványok és tartalmi vonatkozásaik egymással harmonizálnak, egymással vannak összhangban (horizontális értelmezés).

Az új, különleges értelmezés szerint a *harmonizált európai szabványok* azok az európai termékszabványok, amelyek az „új megközelítésű” európai irányelv(ek)ben szereplő „lényeges” követelmények teljesülését szolgálják, az „új megközelítésű” irányelvvel (direktívával) harmonizálnak, azzal összhangban állnak (vertikális értelmezés). E szócikkben ezzel az új értelmezéssel foglalkozunk.

Az európai irányelvek (direktívák) kötelezőek, mert jogszabályok, és a nemzetek kötelesek jogszabályként bevezetni, és az ezeknek ellentmondó jogszabályaikat visszavonni. Ez az Európai Közösségek tagjaira és tagjelöltjeire, így Magyarországra nézve is kötelező. Az „új megközelítésű” irányelvek csak a termékekre vonatkozó alapvető követelményeket (az élet, egészség, vagyon, környezet védelme) tartalmazzák. 2002. májusában az „új megközelítésű” irányelvek száma 24 darab volt, melyek közül egy vonatkozik az építési termékekre. Ennek és az ezt kiegészítő „Építési termékek” irányelvnek a megnevezése: "Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 (construction products)" és "Directive 93/68/EEC of 22 July 1993 (CE Marking)".

Harmonizált európai szabvány csak termékszabvány [a termékre követelményeket (is) tartalmazó szabvány] lehet, de nem minden európai termékszabvány harmonizált, mert vannak olyan termékek is, amelyek szabványa nem kell, hogy az „új megközelítésű” irányelveknek megfeleljen, illetőleg rájuk vonatkozó „új megközelítésű” irányelvek nincsenek is. A harmonizált európai szabvány mögött van „új megközelítésű” irányelvi követelmény, a nem-harmonizált európai szabvány mögött nincs ilyen követelmény.

Harmonizált európai szabvány például:

MSZ EN 197-1:2000 „Cement”,

MSZ EN 459-1:2002 „Építési mész. Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőségi feltételek”,

MSZ EN 934-2:2002 „Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások és követelmények”,

MSZ EN 934-4:2002 „Adalékszerek feszítőkábelek injektálóhabarcsához. Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőség”,

MSZ EN 1338:2003 „Beton útburkoló elemek. Követelmények és vizsgálati módszerek”,

MSZ EN 1339:2003 „Beton járdalapok. Követelmények és vizsgálati módszerek”,

MSZ EN 1340:2003 „Beton útszegélyelemek. Követelmények és vizsgálati módszerek”,

MSZ EN 1341:2002 „Természetes útburkoló kőlapok külső kövezésre. Követelmények és vizsgálati módszerek”,

MSZ EN 1342:2002 „Természetes útburkoló kövek külső kövezésre. Követelmények és vizsgálati módszerek”,

MSZ EN 1343:2002 „Természetes útszegélykövek külső kövezésre. Követelmények és vizsgálati módszerek”,

MSZ EN 12620:2003 „Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz” (hazai szóhasználattal ez egy homok, kavics, és homokos kavics❖ termékszabvány),

MSZ EN 12839:2001 „Előregyártott beton kerítéselemek”,

MSZ EN 13043:2003 „Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületkezeléséhez” (hazai szóhasználattal ez egy zúzottkő❖ és kőliszt❖ termékszabvány),

MSZ EN 13055-1:2003 „Könnyű kőanyaghalmazok. 1. rész: Könnyű kőanyaghalmazok (könnyű adalékanyagok❖) betonhoz, habarcshoz, injektálóhabarcshoz”,

MSZ EN 13139:2003 „Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) habarcshoz”, (hazai szóhasználattal ez is egy homok❖ és kőliszt❖ termékszabvány),

MSZ EN 13242:2003 „Kőanyaghalmazok műtárgyakban és útépítésben használt kötőanyag nélküli és hidraulikus kötésű anyagokhoz” (hazai szóhasználattal ez is egy zúzottkő❖ termékszabvány),

MSZ EN 13383-1:2003 „Vízépítész terméskő. 1. rész: Műszaki előírás”,

MSZ EN 13450:2003 „Vasúti ágyazati zúzottkő” (hazai szóhasználattal ez is egy zúzottkő❖ termékszabvány)

című termékszabvány.

Az európai szabvány mindig és csak azáltal válik harmonizált szabvánnyá, hogy az EU Bizottság harmonizálttá nyilvánítja. A harmonizált szabványokat az EU hivatalos lapjában (Official Journal) hirdetik meg, és ezek naprakész jegyzéke az interneten is olvasható: http://europa.eu.int/comm/enterprise/newapproach/standardization/index.html

A harmonizált szabvány előszava utal arra, hogy a harmonizált európai szabvány az EU irányelv(ek) lényeges követelményeit tartalmazza, és az azzal való kapcsolatot a szabvány szerves részét képező, tájékoztató jellegű ZA melléklet tárgyalja.

Az európai piacon olyan termékek forgalmazhatók a legkönnyebben, amelyek a vonatkozó harmonizált szabványnak, és ezáltal egy, esetleg több „új megközelítésű” irányelvnek megfelelnek. A gyártó vagy a termék forgalmazója csak az ilyen terméket láthatja el a CE (a francia „conformité européenne” kifejezés rövidítése) jelöléssel, és csak akkor, ha az EU Bizottság által kijelölt valamely, EU tagállamban található „notifikáló szervezet”-től a CE jel használatát engedélyező okiratot megszerezte. A CE megfelelőségi jelölés tartalmazza az ábrán látható CE jelet, továbbá a gyártó megnevezését, címét, a gyár nevét, a CE megjelölés elhelyezése évének két utolsó számjelét vagy dátumát, a szabvány jelét, a termék szabványos jelét, esetleg főbb jellemzőit. A CE jelölést szabályosan viselő termék forgalmazását az EU tagországokban megtiltani, megakadályozni, korlátozni nem lehet, következésképpen a forgalmazásához nemzeti „Építőipari Műszaki Engedély” beszerzése sem szükséges, hanem a kijelölt intézmények valamelyikének tanúsítványa elegendő.

Az európai szabványok honosítása Magyarország számára a megjelenést követő hat hónapon belül kötelező (az alkalmazás ugyanakkor önkéntes), és ebben Magyarországnak lemaradása nincs, tehát rövid időn belül minden új európai szabvány honosításra kerül. A honosított európai szabvány viszont csak akkor harmonizált, ha a forrás szabvány harmonizált európai szabvány.

Bár nem tartozik szorosan a tárgyhoz, mégis megjegyzendő, hogy az MSZT (Magyar Szabványügyi Testület) 2003. január 1. óta a CEN (a francia „Comité Européen de Normalisation” elnevezés rövidítése, Európai Szabványügyi Testület) teljes jogú tagja. A teljes jogú tagsággal az MSZT illetve hazánk az európai szabványosítás egyenrangú résztvevőjévé vált, a jogok mellett azonban azokat az alapvető kötelezettségeket is teljesítenie kell, amelyeket az 1999. szeptemberi CEN-szabályzat (Code for CEN) tartalmaz: http://www.mszt.hu/hirek/CEN_Code_hun.pdf

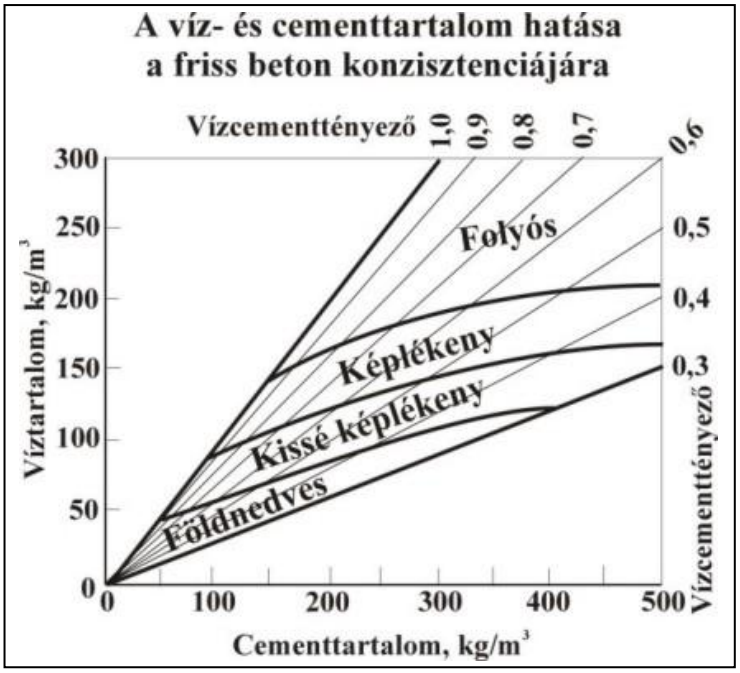
Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. február havi számának 15. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Konzisztencia, beton konzisztencia

Németül:	Konsistenz des Betons
Angolul:	Consistency of concrete
Franciául:	Consistance du béton



A konzisztencia osztályok hagyományos magyar megnevezésének és jelének (MSZ 4719:1982) közelítő német megfelelője a DIN 1045:1988 és a DIN 1045-2:2001 szabvány szerint:

Folyós (F)	Fließfähig (Jel a DIN 1045:1988 szerint: KF)
Képlékeny (K)	Weich (Jel a DIN 1045:1988 szerint: KR, Regelkonsist.)
Kissé képlékeny	Plastisch (Jel a DIN 1045:1988 szerint: KP)
Földnedves (FN)	Steif (Jel a DIN 1045:1988 szerint: KS)

A beton konzisztencia fizikai, a folyadékok viszkozitásával rokon betontechnológiai fogalom, amely a friss beton mozgással szembeni ellenállását, belső súrlódását, alaktartását fejezi ki. A beton konzisztenciája elsősorban a friss beton keverhetőségét, szállíthatóságát bedolgozhatóságát, tömöríthetőségét, állékonyságát befolyásolja, de hatással van a beton cement- és vízigényére, kötési-szilárdulási folyamatára, zsugorodására, a megszilárdult beton szövetszerkezetére (struktúrájára) ❖, szilárdságára is. A friss beton konzisztenciáját a cement minősége, az adalékanyag anyagtani minősége és szemszerkezete, a keverék összetétele, mint például a víz-, cement-, adalékanyag- finomrész-tartalom befolyásolja. A víz- és cementtartalom hatását az ábra szemlélteti.

A konzisztencia javítására célszerűen nem a vízadagolást kell növelni, ami a szilárdságra káros, hanem képlékenyítő vagy folyósító adalékszert kell alkalmazni.

A ma már visszavont **MSZ 4719:1982** „Betonok” című magyar szabvány a földnedves (FN), kissé képlékeny (KK), képlékeny (K), folyós (F) megnevezésű (jelű) konzisztencia osztályokat ismerte. Az MSZ 4719:1982 szabvány vizsgálati módszerként az MSZ 4714-3:1986 „A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása” című szabvány eljárásait jelölte meg, amely utóbbi függelékében az FN, KK, K, F jelű konzisztencia osztályok mérőszámainak határértékei is megtalálhatók. Az alig földnedves (AFN) és az önthető (Ö) konzisztencia osztályt az 1978-ig érvényben volt MSZ 4714:1955 vizsgálati szabvány és az 1977-ig érvényben volt MSZ 4719:1958 termék szabvány tartalmazta, de azok egyes nemzeti (például ÖNORM B 4200-10:1983) és nemzetközi (például ISO 4103:1979) szabványokban ma is szerepelnek.

Az MSZ 4714-3:1986 szabványban szereplő vizsgálati módszerekkel a roskadás, a terülés, a VEBE-méteres átformálási idő, az átformálási ütésszám, a Glanville-féle tömörödés, a Humm-féle behatolás határozható meg. A Humm-féle behatolási mélység mérő szonda elődjének a Graf-féle, máshol Graf-Humm-féle néven említett ejtősúlyos, behatolás mérő készülék (németül: Gerät für den Eindringversuch nach Graf) tekinthető, amelynek leírása az MSZ 4714:1955 szabványban

szerepelt. Az MSZ 4714:1955 szabvány még a végtelenül egyszerű, és a gyakorló betontechnológusok körében ma is népszerű „kőműveskanál próbát” is tárgyalta.

Az **MSZ EN 206-1:2002** „Beton. 1. rész: Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség” című európai szabvány a konzisztencia osztályokat betű és szám kombinációval jelöli, ahol a betű a vizsgálati módszerre, a szám a konzisztencia jellegére utal. A konzisztencia osztályokat az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerinti roskadás, az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerinti terülés, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerinti VEBE-méteres átformálási idő, az MSZ EN 12350-4:2000 szabvány szerinti (Walz-féle) tömörítés vizsgálatok mérőszámai határolják be.

Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány különleges esetekben megengedi, hogy a konzisztencia előírása ne a konzisztencia osztállyal, hanem tervezett értékkel történjék, és mind a négy vizsgálati módszerre megadja a konzisztencia jellemző tervezett értékének tűréseit.

Az európai vizsgálati szabványok a konzisztencia mérő eszközök méretét tűréssel adják meg, míg az MSZ 4714-3:1986 szabvány csak elvétve.

Az MSZ 4714-3:1986 magyar szabvány szerinti és az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályok lényegében és közelítőleg a következő táblázat szerint felelnek meg egymásnak:

<table>
<tr><td rowspan="2">Konzisztencia osztályok az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint</td><td colspan="4">Konzisztencia osztályok
az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerint</td></tr>
<tr><td>Roskadási osztály</td><td>Terülési osztály</td><td>VEBE osztály</td><td>Tömörítési osztály</td></tr>
<tr><td>(Alig földnedves)</td><td></td><td></td><td></td><td>C0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Földnedves (FN)</td><td rowspan="3">S1</td><td rowspan="2">F1</td><td>V0</td><td rowspan="3">C1</td></tr>
<tr><td>V1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Kissé képlékeny (KK)</td><td rowspan="2">F2</td><td>V2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">V3</td><td rowspan="2">C2</td></tr>
<tr><td>Képlékeny (K)</td><td>S2</td><td>F3</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Folyós (F)</td><td>S3</td><td>F4</td><td rowspan="3">Megjegyzés: Az MSZ EN 206-1 szerinti konzisztencia osztályok nem feleltethetők meg egymásnak!</td><td rowspan="3">V4
C3</td></tr>
<tr><td>S4</td><td>F5</td></tr>
<tr><td>S5</td><td>F6</td></tr>
<tr><td>(Önthető)</td><td colspan="3"></td><td>C4</td></tr>
</table>

A friss beton alkalmazandó konzisztenciáját a szerkezet jellege, méretei és a betonozás körülményei szabják meg:

Alig földnedves betonnal nagytömegű, vasalatlan vagy gyengén vasalt szerkezetek, például hídpillérek, gátak, támfalak, útbetonok készítése esetén lehet dolgozni. Előnye a kis cement tartalom, kis hőfejlesztés, kis zsugorodási hajlam. Az ilyen beton nem szivattyúzható, a szállítóeszközből sokszor nehezen üríthető, tömörítéséhez nagyon erős vibrátor szükséges. Nem alkalmazható látszóbeton készítéséhez.

A földnedves beton vasalatlan és ritkán vasalt szerkezetek készítéséhez használható. Tömörítéséhez vibrátort kell használni (ezt a betont német nyelvterületen „Rüttelbeton”-nak azaz vibrált betonnak is nevezik). Nem alkalmazható látszóbeton készítéséhez.

Kissé képlékeny betonból minden vasalatlan és vasalt szerkezet elkészíthető, ha a vasalás nem különösen sűrű. Tömörítéséhez vibrátort kell használni. Szivattyúzható. Látszóbeton készítésére is alkalmas.

A képlékeny betont sűrűn vasalt szerkezetek készítéséhez lehet használni. Gyenge vibrálással is tömöríthető. Felhasználásával nagy kiterjedésű szerkezetek, mechanikai igénybevételeknek kitett

betonok, látszóbetonok is készíthetők. Előnye a szivattyúzhatóság, könnyű bedolgozhatóság. Hátránya a nagy cementigény, a szétosztályozódási, zsugorodási, kivérzési hajlam.

Folyós betonból igen sűrűn vasalt, karcsú, nehezen hozzáférhető szerkezetek is készíthetők. A víz alatti betonozás anyaga. Tömöríteni alig, vagy nem szükséges. Előnye, hogy könnyen szivattyúzható, nehéz körülmények között is gyorsan beépíthető. Hátránya, hogy a folyós beton összetételét igen gondosan kell megtervezni és betartani. Zsugorodása jelentős.

Önthető betonból nagy kiterjedésű szerkezetek gyorsan, könnyen építhetők. Konzisztenciája annyira híg, hogy öntővályúban is eljuttatható a szerkezet minden részébe. Az önthető beton finom rész tartalma nagy, zsugorodása igen jelentős. Különleges fajtája az önterülő (angolul: SLC Self leveling concrete) és az öntömörödő (angolul: SCC Self compacting concrete, németül: SVB Selbstverdichtender Beton) beton , amely az önterülő képességet nem a nagy vízadagolásnak, hanem a különleges összetételnek köszönheti, miáltal mentes az önthető beton egyébként hátrányos tulajdonságaitól.

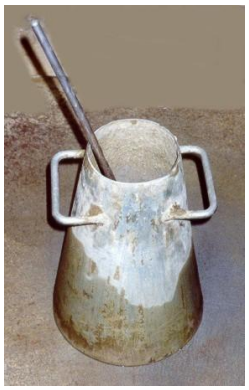
Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. március havi számának 12-13. oldalán

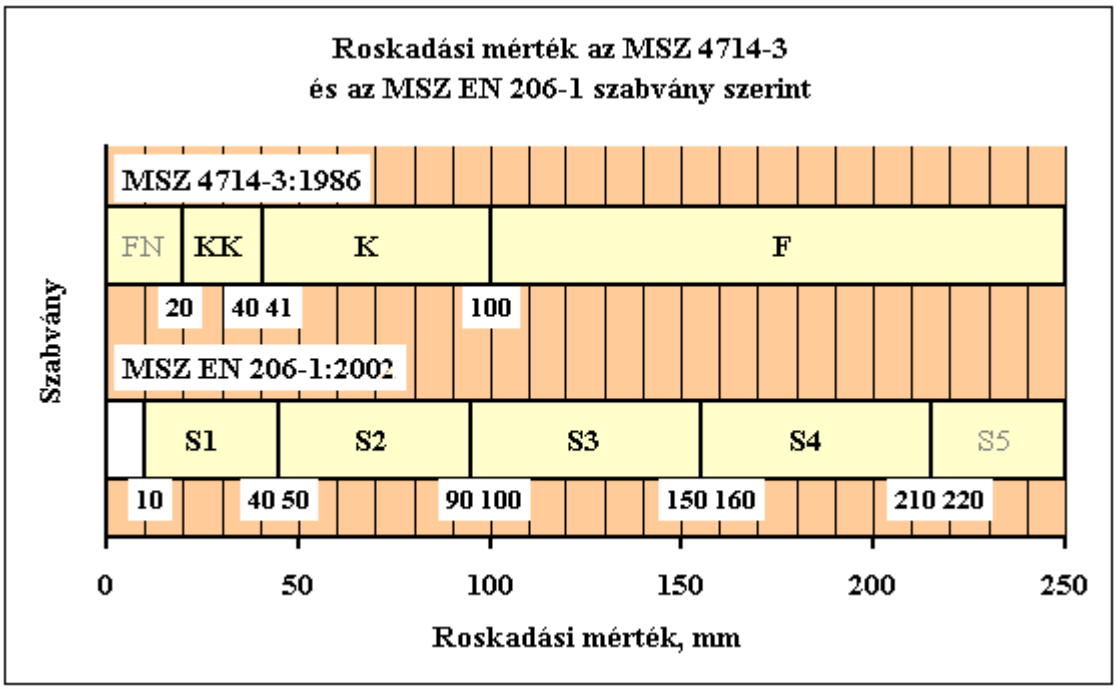
Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Roskadási mérték

Németül:	Setzmaß (nach Abrams)
Angolul:	Slump test
Franciául:	Essais d'affaissement



1. ábra. A roskadás mérő (Abrams-féle) csonka-kúp



2. ábra. Az egykori (hagyományos) magyar és az európai roskadási osztályok közelítő összevetése

A roskadási mérték a régóta és legelterjedtebben használatos konzisztencia ❖ jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 és MSZ EN 206-1:2002 szabványok szerinti konzisztencia osztályainak meghatározásához. A roskadási mérték vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint, és az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ EN 12350-2:2000 európai szabvány szerint kell végezni.

A roskadási osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „S”. Az egykori (hagyományos) magyar és az európai roskadási osztályokat az 2. ábrán vetjük össze.

A roskadás mérés eszköze mind a nemzeti, mind az európai vizsgálati módszer esetén a roskadás mérő csonka-kúp forma (1. ábra), amelynek mérete Φ200/Φ100*300 mm, térfogata 5498 cm^3. (A terülés ❖ mérő csonka-kúp ennél alacsonyabb és kisebb térfogatú.) A szabványos roskadás mérő csonka-kúp formát Abrams-féle kúpnak is nevezik, és más konzisztencia vizsgálati módszerekhez, például a hazánkban szabványos ejtőkengyeles ütésszám, és a hazánkban és Európában is szabványos VEBE-méteres átformálás ❖ méréséhez is alkalmazzák.

A roskadás mérés MSZ 4714-3:1986 és MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerinti módszerei között van bizonyos eltérés.

A két szabvány eltérően ítéli meg vizsgálat alkalmazhatóságát. Az MSZ 4714-3:1986 szabvány az FN földnedves, az MSZ EN 12350-2:2000 és az MSZ EN 206-1:2002 szabvány az S5 konzisztencia osztályú beton esetén tartja a módszert pontatlannak, de az S5 osztály alsó határértékeként kissé eltérő számokat adnak meg. Az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerint a módszer akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb, mint 40 mm.

Az MSZ EN 12350-2:2000 szabványban csak a fenti méretű csonka-kúp szerepel, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a 32 mm < dmax ≤ 63 mm esetre másfélszeres méretű kúp használatát írja elő.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a csonka-kúpot négy rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 4*25=100 szúrással kell tömöríteni, MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerint a csonka-kúpot három rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 3*25=75 szúrással kell tömöríteni.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a roskadást 1 mm pontossággal, az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány szerint 10 mm pontossággal kell megmérni.

A mértékadó vizsgálati eredményt az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint két mérés számtani átlaga, vagy nagy eltérés esetén új átlagmintákkal végzett három mérés számtani átlaga adja, míg az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány egy mérés eredményét is elfogadhatja, de hibás mérés esetére legfeljebb egy ismétlést ír elő.

Az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételeket ❖ az MSZ EN 12350-2:2000 szabvány egyes mérések és két mérésből álló vizsgálatok esetére tárgyalja, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a fogalomkört nem ismeri.

Az ASTM C 995:1991 „Standard test method for time of flow of fiber-reinforced concrete through inverted slump cone” című szabvány érdekes módon a $d_{max} \leq 40$ mm legnagyobb szemnagyságú, nem folyós, *szálerősítésű betonok* (németül: Faserbeton) konzisztenciájának méréséhez alátámasztott, kisebb nyílásával lefelé fordított, szabványos Abrams-féle kúpot alkalmaz. Az USA szabvány a szálerősítésű betonok konzisztenciáját a beton, a tölcsérszerűen elhelyezett Abrams-kúpból, vibrálás hatására való kifolyásának idejével jellemzi. Ez azért indokolt eljárás, mert a hagyományos konzisztencia mérési módszerek a szálerősítésű betonok konzisztencia mérésére nem igen alkalmasak.

Felhasznált irodalom:

MSZ 4719:1982 Betonok
MSZ 4714-3:1986 A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása
MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798:2004 Beton. Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ EN 12350-2:2000 A friss beton vizsgálata. Roskadásvizsgálat
Palotás L. - Balázs Gy.: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

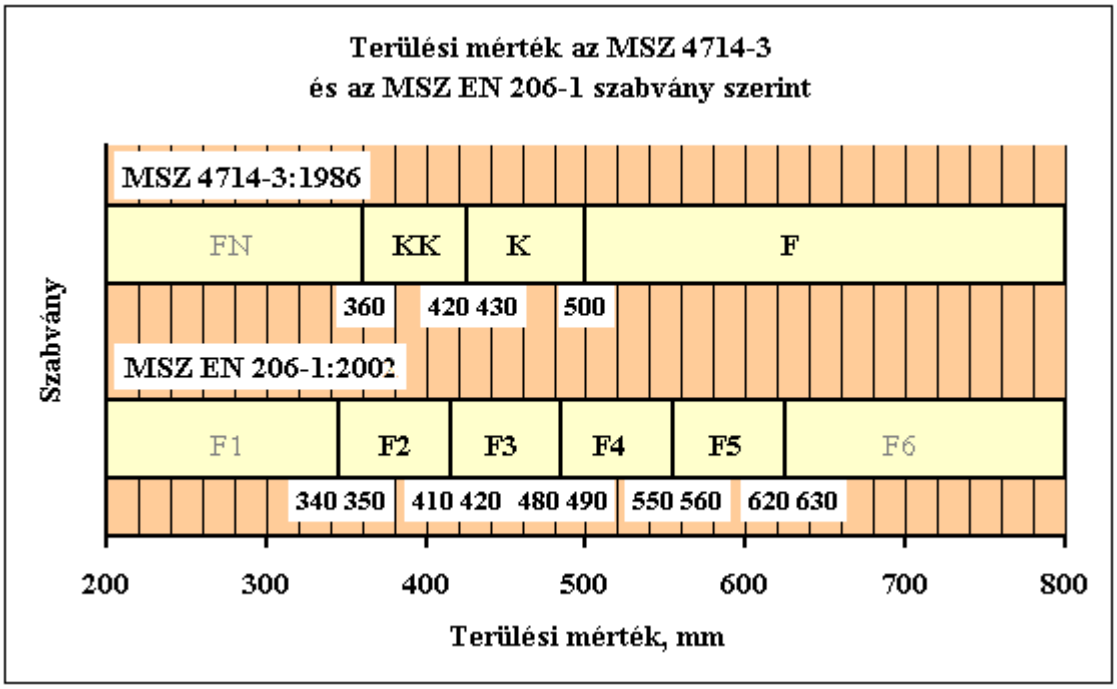
Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. április havi számának 10-11. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Terülési mérték

Németül:	Ausbreitmaß (nach Graf)
Angolul:	Flow table test
Franciául:	Essai d'étalement à la table à chocs

1. ábra. Terülés mérő ejtőasztal és csonka-kúp



2. ábra. Az egykori (hagyományos) magyar és az európai terülési osztályok közelítő összevetése

A terülési mérték a régóta és legelterjedtebben használatos konzisztencia ❖ jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 és MSZ EN 206-1:2002 szabványok szerinti konzisztencia osztályainak meghatározásához. A terülési mérték vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint, és az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány szerint kell végezni.

A terülési osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „F”. A magyar és az európai terülési osztályokat az 2. ábrán vetjük össze.

A terülés mérés eszköze mind a nemzeti, mind az európai vizsgálati módszer esetén a terülés mérő ejtőasztal és csonka-kúp forma (1. ábra). A terülés mérő ejtőasztal lapmérete 700*700 mm, és az egyik oldalon 40 mm magasan megemelhető. A terülés mérő csonka-kúp forma mérete Φ200/Φ130*200 mm, térfogata 4341 cm^3. (A roskadás ❖ mérő csonka-kúp ennél magasabb és nagyobb térfogatú.)

A terülés mérés MSZ 4714-3:1986 és MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerinti módszerei között van bizonyos eltérés.

Mind a két szabvány pontatlannak tartja a módszert az FN illetőleg F1 földnedves konzisztenciák tartományában, az MSZ EN 12350-5:2000 és az MSZ EN 206-1:2002 szabvány az F6 osztályban

is, de az F6 osztály alsó határértékeként kissé eltérő számokat adnak meg. Az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerint a módszer akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb, mint 63 mm.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a terülést 1,0 cm pontossággal, az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány szerint 10 mm pontossággal kell megmérni, ami ugyanaz, de a mértékegység más, tehát a terülés mérőszáma a jövőben az eddiginek tízszerese.

A mértékadó vizsgálati eredményt az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint két mérés számtani átlaga, vagy nagy eltérés esetén új átlagmintákkal végzett három mérés számtani átlaga adja, míg az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány egy mérés eredményét is elfogadhatja, de hibás mérés esetére ismétlést ír elő.

Az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételeket ❖ az MSZ EN 12350-5:2000 szabvány egyes mérések esetére tárgyalja, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a fogalomkört nem ismeri.

A gyakorlatban az *öntömörödő betonok* (angolul: SCC Self compacting concrete, németül: SVB Selbstverdichtender Beton) terülés méréséhez sokszor nem a terülés mérő, hanem a roskadás mérő Abrams-féle csonka-kúp formát használják. Az így mért eredmény - a terülési mérték legalább 550 mm - megtévesztő, ha a nem-öntömörödő, nem-önterülő beton szabványos terülési mértékéhez hasonlítják, hiszen az ugyanolyan folyósságú friss beton csonka-kúp akkor is szélesebbre terül, ha a térfogata nagyobb, és a mérés előtti helyzetben súlypontja magasabban van.

Felhasznált irodalom:

MSZ 4719:1982 Betonok
MSZ 4714-3:1986 A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása
MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798:2004 Beton. Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ EN 12350-5:2000 A friss beton vizsgálata. Terülésmérés ejtőasztalon
Palotás L. - Balázs Gy.: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

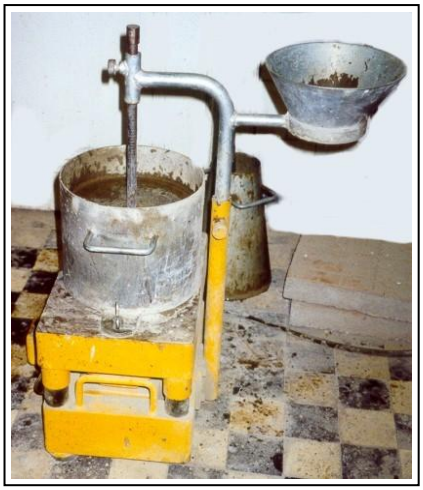
Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. május havi számának 5. oldalán

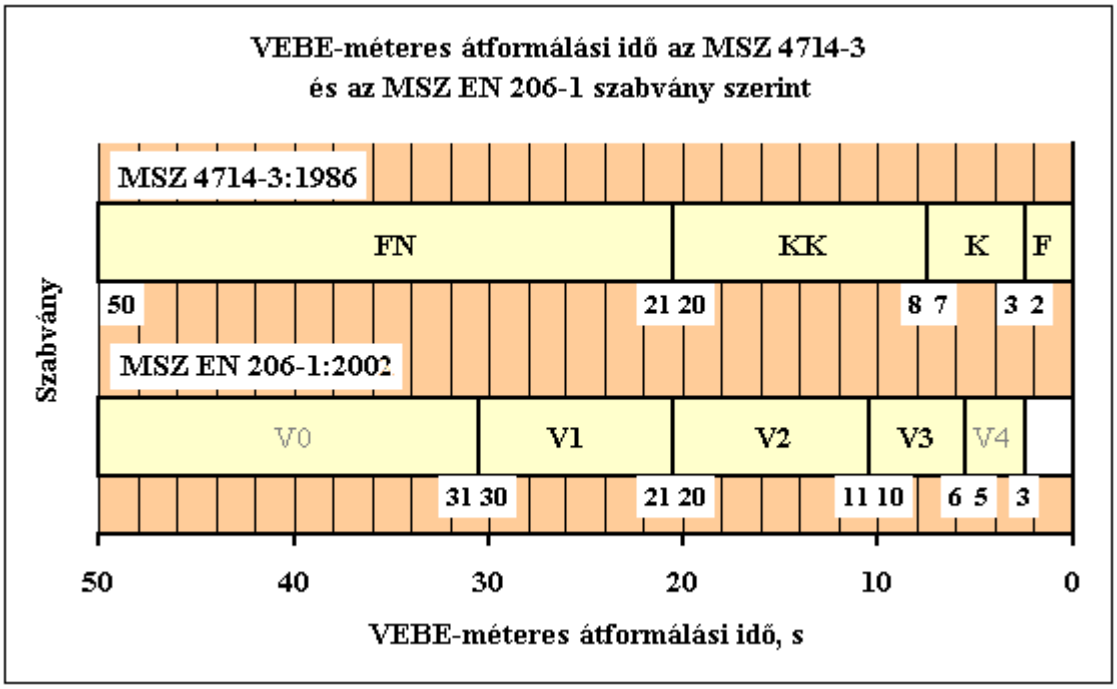
Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

VEBE-méteres átformálási idő

Németül:	Setzzeit (nach Vebe), Vebé-Zeit
Angolul:	Vebe test
Franciául:	Essai Vébé



1. ábra. VEBE-méter



2. ábra. Az egykori (hagyományos) magyar és az európai VEBE osztályok közelítő összevetése

A VEBE-méteres **átformálási idő** a hagyományokkal rendelkező konzisztencia ❖ jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 és MSZ EN 206-1:2002 szabványok szerinti konzisztencia osztályainak meghatározásához. A VEBE-méteres átformálás vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint, és az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ EN 12350-3:2000 európai szabvány szerint kell végezni.

A VEBE osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „V”. A magyar és az európai VEBE osztályokat az 2. ábrán vetjük össze.

A VEBE-készülék rázóasztalon áll, és az Abrams-féle roskadás mérő csonka-kúp alakú friss beton hengerré formálásához szükséges vibrálási idő mérésére alkalmas. A berendezés a VEBE megnevezést a svéd *Victor Bährner* nevének kezdőbetűi után kapta, aki konzisztencia vizsgálati módszerét 1940-ben publikálta a német „Zement” c. folyóiratban. A Bährner-féle VEBE-méter fő méretei azóta sem sokat változtak, de szerkezete bizonyos fejlődésen ment át, az MSZ 4714:1955 szabvány még azt írta, hogy a rázóasztalra szerelt kettős henger átlátszó anyagból készül. A mai, MSZ 4714-3:1986 szabvány szerinti készülék henger alakú szimpla fémtartállyal rendelkezik,

amelynek belső átmérője (Φ 240 mm) megegyezik az eredeti változat belső hengerének belső átmérőjével (1. ábra). Az MSZ 4714:1955 szabvány és egy időben az irodalom (1936. évi hivatkozással) a Bährner-féle VEBE-méter mellett az attól annyiban különböző *Szkramtajev*-módszert is tárgyalta, hogy az utóbbi a henger alakú tartály helyett 200 mm élhosszúságú kockaformát alkalmaz.

A VEBE-méteres átformálás vizsgálatának MSZ 4714-3:1986 és MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerinti módszerei között van bizonyos eltérés.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a módszerrel az összes beton konzisztenciája meghatározható, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint csak a V1 - V3 konzisztencia osztályba tartozó betonok esetén, és akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb, mint 63 mm.

Az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a forgókar függőleges rúdján mm-es beosztás, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint 5 mm-es beosztás van.

Hasonlóan a roskadás méréshez ❖ az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a csonka-kúpot négy rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 4*25=100 szúrással kell tömöríteni, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint három rétegben kell megtölteni betonnal, és összesen 3*25=75 szúrással kell tömöríteni.

Ha a VEBE-készülékkel a roskadási mértéket ❖ is meghatározzuk, akkor az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint a roskadást 1 mm pontossággal, az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány szerint 10 mm pontossággal kell megmérni.

A VEBE átformálási időt 1 másodperc pontossággal kell megadni.

A mértékadó vizsgálati eredményt az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint két mérés számtani átlaga, vagy nagy eltérés esetén új átlagmintákkal végzett három mérés számtani átlaga adja, míg az MSZ EN 12350-3:2000 szabvány egy mérés eredményét is elfogadhatja, de hibás mérés esetére ismétlést ír elő.

A módszer megbízhatóságára, az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételekre ❖ az MSZ EN 12350-3:2000 szabványban nincs adat, az MSZ 4714-3:1986 szabvány a fogalomkört nem ismeri.

A VEBE-méteres átformálási idő vizsgálata tulajdonképpen az MSZ 4714-3:1986 szabványban **átformálási ütésszám** meghatározása néven tárgyalt *Powers*-féle konzisztencia vizsgálat módosított formája. Az átformálási ütésszámot régebben *Powers-foknak* nevezték. Vizsgálati eszköze az ejtőkengyeles készülék, amelynek henger alakú mérőedénye ma Φ 233,5 mm belső átmérőjű és ugyanilyen magas. Az eredeti Powers-féle készülék mérőedénye Φ 240 mm belső átmérőjű és 200 mm magas, módosított változatáé Φ 300 mm belső átmérőjű és 200 mm magas volt. A módosított változat voltaképpen nem más, mint az MSZ 4714:1955 szabványban szereplő, rázóasztalon álló, átformálási időt mérő, kettős hengeres Bährner-féle VEBE-méter, amely egykor 2,2 cm ejtési magasságú, az átformáláshoz szükséges ütéseket létrehozó ejtőasztalon állt, és a konzisztenciát az átformáláshoz szükséges ejtési ütések számával fejezte ki (ez utóbbi módszer neve németül: Verformungsversuch nach Powers). Az egyszerű ejtőkengyeles berendezést *Thaulov*-készüléknek is hívták.

Felhasznált irodalom:

MSZ 4719:1982 Betonok
MSZ 4714-3:1986 A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása
MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798:2004 Beton. Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ EN 12350-3:2000 A friss beton vizsgálata. VEBE vizsgálat
Palotás L. - Balázs Gy.: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

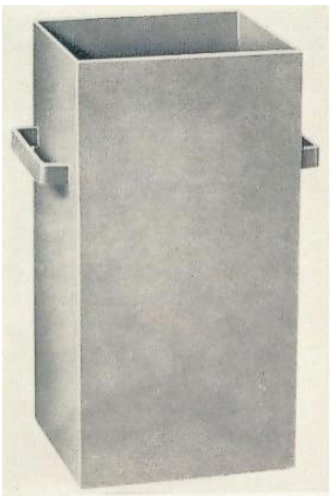
Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. június havi számának 14-15. oldalán

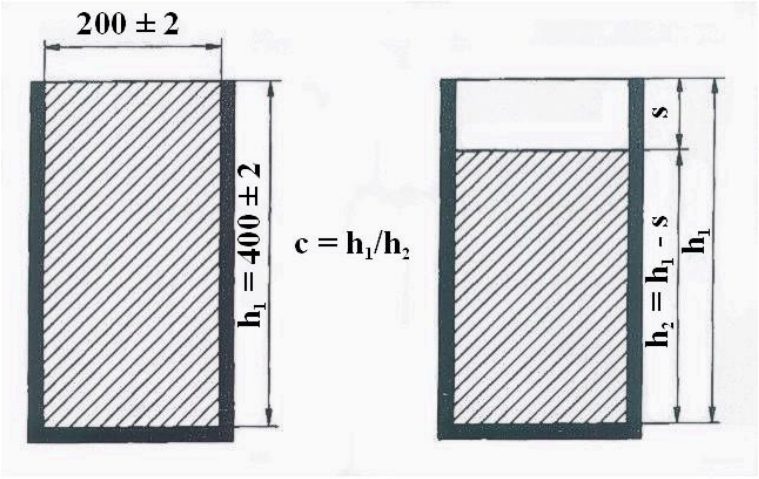
Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Tömörítési mérték, tömörödési tényező

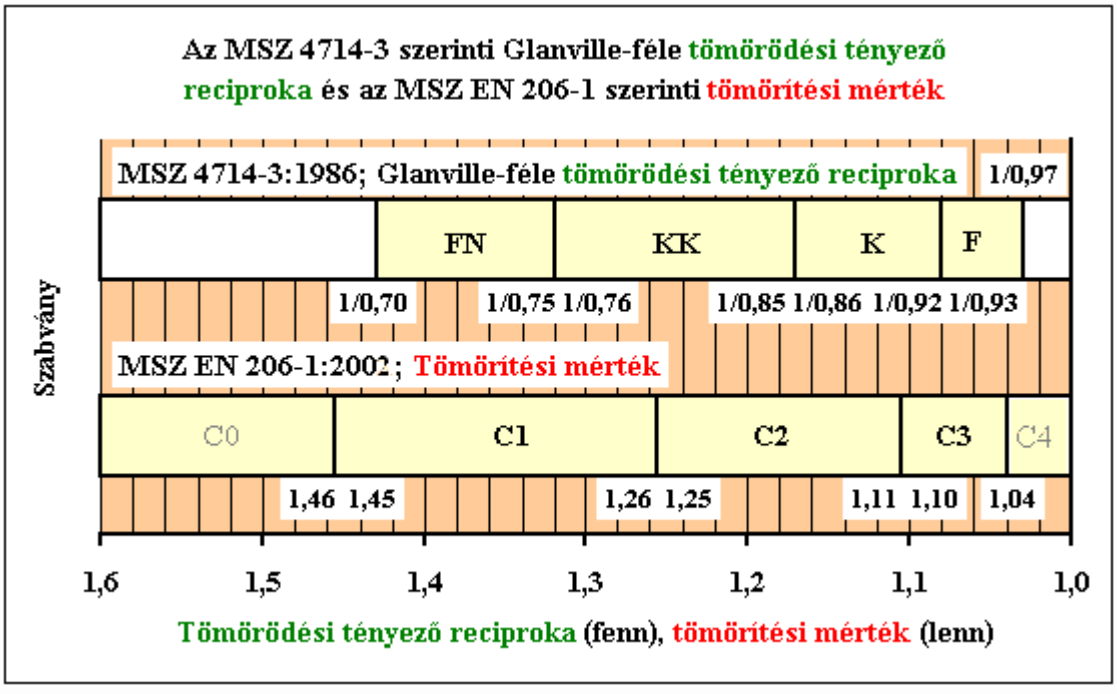
Németül:	Verdichtungsmaß (nach Walz)
Angolul:	Degree of compactability
Franciául:	Degré de compactabilité

2. ábra. Glanville-féle tömörödés mérő készülék (MSZ 4714-3:1986)





1. ábra Walz-féle tömörítés mérő edény és a tömörítési mérték (MSZ EN 206-1:2002)



3. ábra. A Glanville-féle tömörödés és az európai tömörítési osztályok közelítő összevetése

A **(Walz-féle) tömörítési mérték** a konzisztencia ❖ jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti konzisztencia osztályának

meghatározásához. A tömörítési mérték vizsgálatát (németül: Verdichtungsversuch) az MSZ EN 12350-4:2000 európai szabvány szerint kell végezni. Az MSZ EN 12350-4:2000 szerinti tömörítési mérték fogalmát a DIN 1048-1:1978 német szabványból *Walz*-féle tömörítési mértékként ismerjük. Vizsgálatával hazánkban nemzeti szabvány nem foglalkozott, bár leírása a 2001. évben érvénytelenített MSZ ISO 4111:1994 nemzetközi szabványban már megtalálható volt.

A tömörítési osztály betűjele az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint „C”.

A vizsgáló eszköz 200*200 mm alapterületű, 400 mm magas fém edény (1. ábra), amelyet lazán meg kell tölteni betonnal, és le kell húzni. Ezután a betont vibroasztalon, vagy merülő vibrátorral tömöríteni kell. A tömörítési mérték a beton eredeti magasságának (400 mm) és mm pontosan megmért tömörítés utáni magasságának két tizedes pontossággal kiszámított hányadosa, mindig egynél nem kisebb szám.

Az MSZ EN 12350-4:2000 szerinti tömörítés mérés elsősorban akkor alkalmazható, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága nem nagyobb, mint 63 mm, és a konzisztencia osztály C1 - C3 (esetleg C0 -C4) közötti. A módszer megbízhatóságára, az ismétlési (ismételhetőségi) és az összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételekre ❖ az MSZ EN 12350-4:2000 szabványban nincs adat.

A tömörítési mérték azt mutatja meg, hogy a laza állapotú beton térfogata a betömörített beton térfogatának hányszorosa. Értékét betontervezéskor annak kiszámítására szoktuk használni, hogy a betonkeverőgép dobjában megkeverhető betonadag laza térfogata hányszorosa a betonadag betömörítés utáni térfogatának, illetve, hogy a laza betonadag tömege hányadrésze az ugyanolyan térfogatú betömörített beton tömegének. (Például abból a képlékeny konzisztenciájú betonból, amelynek tömörítési mértéke 1,12 és testsűrűsége friss állapotban, betömörítés után 2400 kg/m^3 lesz, az 800 literes betonkeverő dobban 2400*0,8/1,12=1714 kg tömegű beton adag keverhető meg.)

A (Walz-féle) *tömörítési mértéket* nem szabad összetéveszteni a rokon hangzású (Glanville-féle) *tömörödési tényezővel*. Ennek esélye megvan, hiszen az EN 12350-4:1999 európai forrás szabvány címében szereplő angol „Degree of compactability” kifejezés nemcsak tömörítési mértéknek, hanem tömörödési tényezőnek is fordítható (mint az sajnos a honosított magyar szabvány esetén meg is történt).

A **Glanville-féle tömörödési tényező** a konzisztencia ❖ jellemzők egyike, amely más konzisztencia jellemzők mellett alapul szolgál a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához. A tömörödési tényező vizsgálatát a beton MSZ 4719:1982 szabvány szerinti konzisztencia osztályának meghatározásához az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint kell végezni.

A tömörödési osztályok mérőszámainak határértékei a $d_{max} \leq 32$ mm legnagyobb szemnagyságú betonok vizsgálatára alkalmas 5 dm^3 űrtartalmú hengerrel rendelkező, kisebb Glanville-féle készülékre vonatkoznak, amelynek felső csonkakúpja Φ260/Φ130*280 mm méretű (2. ábra). A készülék másik, ritkán használt, nagyobb méretváltozata a $d_{max} \leq 63$ mm legnagyobb szemnagyságú betonok vizsgálatára alkalmas, ennek henger-űrtartalma 20 dm^3, felső csonkakúpja Φ380/Φ190*410 mm méretű. A tömörödési tényező a laza és a bevibrált friss beton testsűrűségének két tizedes pontossággal kiszámított hányadosa, mindig egynél nem nagyobb szám.

A tömörödési tényező fogalmát *dr. Palotás László* (1905-1993) az építőanyagok műszaki értelmező szótárába (Terra Könyvkiadó. Budapest) már 1958-ban felvette. A Glanville-féle tömörödési tényezőt CF-számnak is szokták nevezni, az angol „Compacting Faktor” kifejezés kezdőbetűi alapján (BS 1881:1988). Az irodalom a mérőeszközt *Glanville-Rilem-féle készülék* néven is említi (RILEM Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions = Építőanyagok és szerkezetek laboratóriumi vizsgálatának és kutatásának nemzetközi egyesülete).

Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány szerinti tömörítési osztályoknak a magyar szabványokban nincs megfelelője. Minthogy azonban a *Walz-féle tömörítési mérték* közelítőleg egyenlő az MSZ 4714-3:1986 szabványban szereplő *Glanville-féle tömörödési tényező* reciprokával, ez utóbbit a szóban forgó konzisztencia osztályok közvetett összehasonlításául használhatjuk. A Glanville-féle tömörödési tényező reciprok értékeit és az európai tömörítési osztályokat a 3. ábrán vetjük össze.

Felhasznált irodalom:

MSZ 4719:1982 Betonok
MSZ 4714-3:1986 A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása
MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798:2004 Beton. Feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ EN 12350-4:2000 A friss beton vizsgálata. Tömörítési mérték (helytelenül: tömörödési tényező)
Palotás L. - Balázs Gy.: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. július-augusztus havi számának 18-19. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Ismétlési és összehasonlítási feltételek, a mérési eredmények megbízhatósága

Németül:	Ismétlési (ismételhetőségi) feltétel	Wiederholbedingung; Bedingung der Wiederholbarkeit
	Összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltétel	Vergleichbedingung; Bedingung der Vergleichbarkeit
Angolul:	Ismétlési (ismételhetőségi) feltétel	Repeatability conditions
	Összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltétel	Reproducibility conditions
Franciául:	Ismétlési (ismételhetőségi) feltétel	Conditions de répétabilité
	Összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltétel	Conditions de reproductibilité

A vizsgálatok ismétlési (ismételhetőségi) és összehasonlítási (összehasonlíthatósági) feltételeit az MSZ EN 12350-2:2000 roskadás vizsgálati ❖ és az MSZ EN 12350-5:2000 terülés vizsgálati ❖ európai szabványok példáján értelmezzük. E szabványok ugyanis megadják a friss beton konzisztencia mérési ❖ eredménye megbízhatóságának feltételeit:

- arra az esetre, ha a statisztikai biztonság (németül: Statistische Sicherheit) értéke $P_T = 0,95$;
- olyan *roskadás mérési kísérlet* tapasztalatai alapján, amelyben 16 laboráns vett részt, a roskadási mértékek 50 - 80 mm közé (S2 konzisztencia osztály) estek, és a mért értékek összeférhetősége szempontjából megítélendő két vizsgálat mindegyike vagy egy mérésből, vagy két mérésből állt;
- olyan *terülés mérési kísérlet* tapasztalatai alapján, amelyben 16 laboráns vett részt, a terülési mérték 555 mm (F4 és F5 konzisztencia osztályok határa) volt, és a mért értékek összeférhetősége szempontjából megítélendő két vizsgálat mindegyike egy mérésből állt.

Az ismételhetőség és az összehasonlíthatóság meghatározásának célja a mérés véletlen hibáinak korlátozása, a mért értékek összeférhetőségének, a mérési eredmények megbízhatóságának (Genauigkeit) megítélése, ami a tapasztalati terjedelem (Spannweite) és a megengedett terjedelem (zulässige Spannweite) összevetése alapján történik. Az alkalmazott matematikai-statisztikai módszer független - valószínűségi - változója nem a mérés eredménye, hanem terjedelme, amire a statisztikai biztonság is vonatkozik.

A mérés eredménye (Ergebnis) lehet egyes érték (Einzelwert) vagy több egyes mérésből nyert átlag, azaz számtani középérték (arithmetisches Mittel).

A terjedelem a vizsgálat legnagyobb és legkisebb mérési eredményének (az MSZ EN 12350-2:2000 és MSZ EN 12350-5:2000 szabványok esetében két mérés eredményének, vagy két-két mérés átlagának) különbsége. (Esetünkben önmagától teljesül, hogy a terjedelmet abszolút értékben kell kifejezni.)

Az *„ismételhetőség”* az a megengedett terjedelem (vagy hozzá tartozó megengedett szórás), amelynél egy laboráns (egyazon személy) által - ugyanabból a betonkeverékből vett mintákon (jelen esetben két mintán), ugyanazzal az eszközzel, rövid időn belül - végzett ún. összeférhető vizsgálatok (jelen esetben két vizsgálat) terjedelme (vagy szórása), jelen esetben 20 eset közül legfeljebb egyszer (azaz 5 %-os gyakorisággal) szabad, hogy nagyobb legyen.

Az *„összehasonlíthatóság”* az a megengedett terjedelem (vagy hozzá tartozó megengedett szórás), amelynél több (esetünkben két) laboráns (különböző személyek) által - ugyanabból a betonkeverékből vett mintákon (jelen esetben két mintán), azonos típusú, de külön-külön (esetünkben két külön) eszközzel, rövid időn belül - végzett ún. összeférhető vizsgálatok (jelen

esetben két vizsgálat) terjedelme (vagy szórása), jelen esetben 20 eset közül legfeljebb egyszer (azaz 5 %-os gyakorisággal) szabad, hogy nagyobb legyen.

Az ismételhetőség és az összehasonlíthatóság tehát (feltételeink szerint) az 5 %-os felső küszöbértéknek megfelelő követelmények, azaz „minősítési értékek", amelyeket az összeférhető egyes mérési eredményekből, - vagy a több mérés eredményének átlagaként kapott - összeférhető vizsgálati eredményekből kiszámított matematikai statisztikai jellemzők (terjedelem vagy szórás), mint tapasztalati „jellemző értékek" a megengedett hibahatárnál (5%) nagyobb gyakorisággal nem szabad, hogy meghaladjanak. Ellenkező esetben a mérési vagy vizsgálati eredmények egymással nem összeférhetőek.

Az MSZ EN 12350-2:200 európai szabvány két roskadás mérés - ez két olyan vizsgálat, amelyek mindegyike egy mérésből áll (Einzelbestimmung), - vagy két roskadás vizsgálat - ez két olyan vizsgálat, amelyek mindegyike két mérésből áll (Doppelbestimmungen) - ismétlési és összehasonlítási feltételeit tárgyalja.

Más az ismételhetőség és az összehasonlíthatóság követelmény értéke, ha két mérésről (egy-egy mérésből álló két vizsgálatról) van szó (Einzelbestimmung), és más, ha két olyan vizsgálatról, amelyek eredményei két mérés eredményének számtani átlagából adódnak (Doppelbestimmungen):

MSZ EN 12350-2:2000 európai szabvány 1. táblázat. A roskadási mérték mérésének megbízhatósági adatai (Genauigkeitsdaten), ha mind a két vizsgálat egy mérésből áll (Einzelbestimmung)

Ismételhetőség feltételei, mm		Összehasonlíthatóság feltételei, mm	
Szórás, s_r	Terjedelem, r	Szórás, s_R	Terjedelem, R
5,8	16	9,0	25

MSZ EN 12350-2:2000 európai szabvány 2. táblázat. A roskadási mérték mérésének megbízhatósági adatai (Genauigkeitsdaten), ha mind a két vizsgálat eredménye két mérés eredményének számtani átlagából áll (Doppelbestimmungen)

Ismételhetőség feltételei, mm		Összehasonlíthatóság feltételei, mm	
Szórás, s_r	Terjedelem, r	Szórás, s_R	Terjedelem, R
4,1	11	8,0	22

A táblázatokban a terjedelem és a szórás hányadosának értéke minden esetben: $\omega = r/s_r = R/s_R \sim$ 2,7 - 2,8, pontos értéke: 2,771808. Ebből lehet tudni, hogy minden esetben két mérési eredmény, vagy két - esetünkben egyenként két mérésből álló - vizsgálat mérési eredményeinek átlagáról van szó (n = 2), mert három adat esetén (n = 3) a terjedelem és a szórás hányadosának értéke ω =3,314493 lenne.

Eszerint az MSZ EN 12350-2:2000 európai szabvány roskadás mérésre vonatkozó táblázatai azt fejezik ki, hogy

- ha egy laboráns az ismételhetőség feltételei mellett két roskadás mérést végez, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 16 mm;
- ha egy laboráns az ismételhetőség feltételei mellett két roskadás vizsgálatot végez, és mindegyik vizsgálat két mérésből áll, és mértékadó eredménye a két mérés számtani átlaga, akkor a két vizsgálat mértékadó eredménye (azaz két mérés átlaga) abban az esetben összeférhető, ha a két vizsgálat eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 11 mm;
- ha két laboráns (például a betont gyártó transzportbeton üzem laboránsa és a betont vásárló kivitelező laboránsa) az összehasonlíthatóság feltételei mellett egy-egy roskadás mérést végez, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 25 mm;

- ha két laboráns (például a betont gyártó transzportbeton üzem laboránsa és a betont vásárló kivitelező laboránsa) az összehasonlíthatóság feltételei mellett egy-egy roskadás vizsgálatot végez, és mindegyik vizsgálat két mérésből áll, és mértékadó eredménye a két mérés számtani átlaga, akkor a két vizsgálat mértékadó eredménye (azaz két mérés átlaga) abban az esetben összeférhető, ha a két vizsgálat eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 22 mm.

Az MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány két terülés mérés - ez két olyan vizsgálat, amelyek mindegyike egy mérésből áll (Einzelbestimmung), - összeférhetőségének feltételeit tárgyalja:

MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány 1. táblázat. A terülési mérték mérésének megbízhatósági adatai (Genauigkeitsdaten), ha mind a két vizsgálat egy mérésből áll (Einzelbestimmung)

Ismételhetőség feltételei, mm		Összehasonlíthatóság feltételei, mm	
Szórás, s_r	Terjedelem, r	Szórás, s_R	Terjedelem, R
24,6	69	32,5	91

A terjedelem és a szórás hányadosának értéke ebben a táblázatban is: $\omega = r/s_r = R/s_R \sim 2{,}8$, pontos értéke: 2,771808. Ebből lehet tudni, hogy minden esetben két mérési eredmény átlagáról van szó (n = 2).

Eszerint az MSZ EN 12350-5:2000 európai szabvány terülés mérésre vonatkozó táblázata azt fejezi ki, hogy

- ha egy laboráns az ismételhetőség feltételei mellett két terülés mérést végez, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 69 mm;
- ha két laboráns (például a betont gyártó transzportbeton üzem laboránsa és a betont vásárló kivitelező laboránsa) az összehasonlíthatóság feltételei mellett egy-egy terülés mérést végez, akkor azok eredménye abban az esetben összeférhető, ha a két mérés eredményének terjedelme az esetek 95 %-ában kisebb, mint 91 mm.

A mérési eredmények megbízhatóságának fenti számításmódja tehát azon alapszik, hogy meghatározták annak a $T = (0+\omega*s)$ egyoldali intervallumnak a nagyságát, amelybe az r illetve R terjedelem - mint valószínűségi változó - adott W valószínűséggel beleesik. A W statisztikai biztonsághoz tartozó r/s illetve R/s standardizált (elméleti) terjedelmet normális eloszlás feltételezése mellett határozták meg, és kimutatták, hogy a standardizált terjedelem - mint valószínűségi változó - e_M várható értéke és e_D szórása, továbbá az r illetve R terjedelem $M = e_M*s$ várható értéke és $D = e_D*s$ szórása csupán az n-től függő szám. Az e_M és az e_D adatokkal megszerkesztették a standardizált terjedelem különböző n értékekhez tartozó egyoldali w_n relatív gyakoriságfüggvényét és W_n eloszlásfüggvényét. A $P_T = 0{,}95$ értékű ordináta a W_n eloszlásfüggvényen kimetszi az adott n értékhez tartozó ω_n tényezőt, mint abszcissza értéket (lásd az ábrát). Ezért például n = 2 esetén $P_T = 0{,}95$ a valószínűsége annak, hogy a tapasztalati terjedelem $T_2 = (r_2$ vagy $R_2) = \omega_2*s = 2{,}771808*s$ elméleti, megengedett értéknél kisebb értéket vesz fel. Ugyanennyi a valószínűsége annak, hogy n = 3 esetén a tapasztalati terjedelem kisebb, mint $T_3 = (r_3$ vagy $R_3) = \omega_3*s = 3{,}314493*s$.

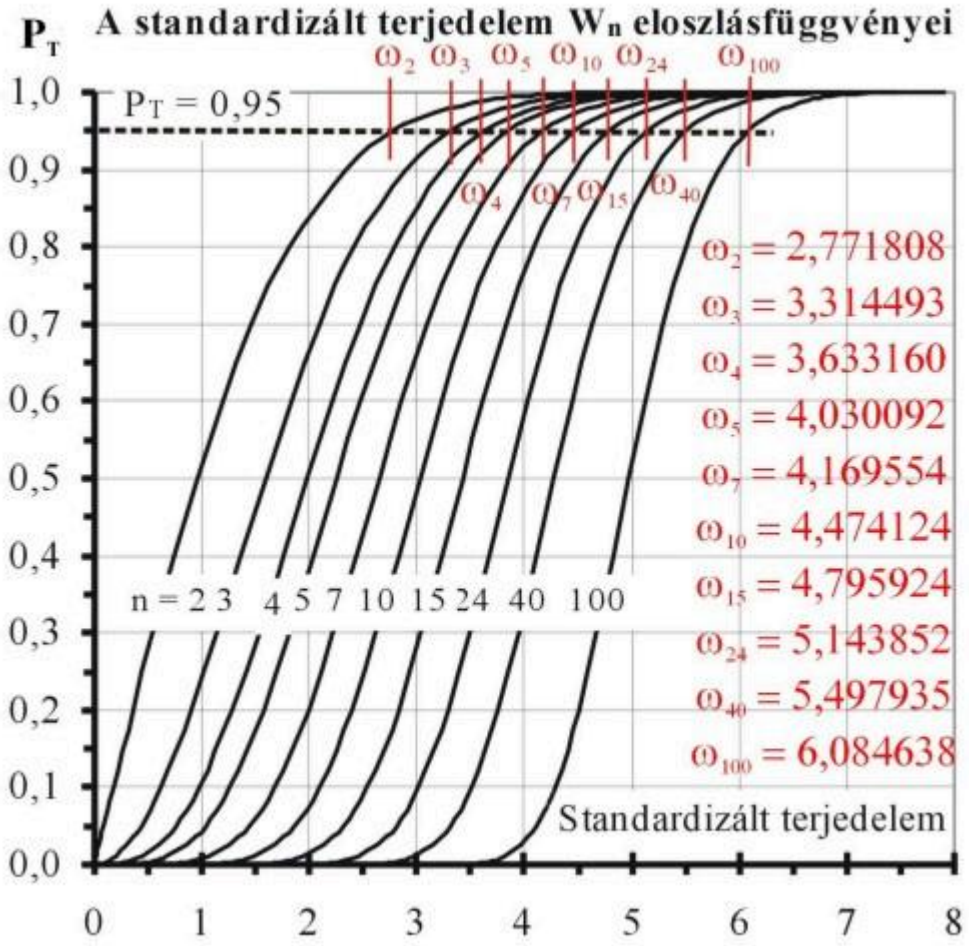
Az MSZ EN 12350-2:2000 és MSZ EN 12350-5:2000 európai szabványok fenn hivatkozott táblázatainak elkészítéséhez az említett 16 (egyesült királyságbeli) laboráns 1987-ben, igen gondosan végzett méréseinek eredményeiből kiszámították a tapasztalati szórásokat, és azokat s elméleti, megengedett szórásként, az ω_n*s szorzatokat r illetve R elméleti, megengedett terjedelemként fogadták el. (Utalunk arra, hogy jelen esetben a tanulmányozott szabványok jelöléseit követtük, de a matematikában az elméleti szórást σ betűvel, a tapasztalati szórást s betűvel szokás jelölni.)

A friss beton vizsgálata eredményeinek megbízhatóságát nemcsak a roskadás és a terülés mérés európai szabványai, hanem a testsűrűség mérés (MSZ EN 12350-6:2000) és a levegőtartalom

mérés (MSZ EN 12350-7:2000) európai szabványai is az ismétlési és összehasonlítási feltételek szerint ítélik meg. Ugyanezt az eljárást követi a megszilárdult beton testsűrűségének európai vizsgálati szabványa (MSZ EN 12390-7:2001) is.

A mérési eredmények megbízhatóságát több európai kőanyaghalmaz (adalékanyag) vizsgálati szabvány is az ismétlési és összehasonlítási feltételek alapján tárgyalja. Ezek közül az MSZ EN 932-6:1999 „Kőanyagok általános tulajdonságainak vizsgálata. Az ismétlési pontosság és az összehasonlítási pontosság fogalommeghatározásai” című szabvány tartalmazza a fogalmak értelmezését.

Megjegyezzük, hogy a mérési eredmények terjedelem szerinti értékelésével a magyar nemzeti szabványokban is lehet találkozni. Például az MSZ 18284/2:1979 „Építési kőanyagok tömegösszetételi vizsgálatai. Sűrűségi jellemzők vizsgálata” című szabványban a mérési eredmények megbízhatóságának követelményei a fenti matematikai-statisztikai elméletnek az alkalmazásával - többféleképpen rendezett 800 testsűrűség és anyagsűrűség mérés eredménye alapján - kerültek meghatározásra.



Felhasznált irodalom:

MSZ EN 12350-2:2000 A friss beton vizsgálata. Roskadásvizsgálat

MSZ EN 12350-5:2000 A friss beton vizsgálata. Terülésmérés ejtőasztalon

ISO 5725-1:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1: General principles and definitions

Graf, U. - Henning, H.-J. - Stange, K.: Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik. Springer-Verlag. Berlin / Heidelberg / New York, 1966.

Harter, H. L.: Tables of range and studentized range. The Annals of Mathematical Statistics. Baltimore, USA. VOL. 31. 1960. No. 4. p. 1122-1147.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. szeptember havi számának 9-11. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Adalékanyag

Németül:	Zuschlagstoff	
Angolul:	Aggregate	
Franciául:	Agrégat	

A beton- és habarcstechnológiában adalékanyagnak a természetes és mesterséges eredetű, a természetben aprózódott, vagy iparilag aprított (tört), esetleg granulált szemhalmazokat nevezzük, amelyek a kötőanyagon, a vízen, az adalékszeren kívül a betonok és a habarcsok fő alkotórészei, és összességükben a betonok és habarcsok üregmentes térfogatának legalább 50-60 %-át kitöltik.

Ez alól a meghatározás alól kivételt képeznek a szemhalmaznak nem minősülő, mégis a fabetonok adalékanyagának tekinthető növényi, rostos anyagok, szemben az erősítőszálakkal, amelyek adagolása csak kivételesen több, mint 2 térfogat%, és amelyeket szerepük alapján nem sorolunk az adalékanyagok közé.

A beton és a habarcs szilárdulása folyamán az adalékanyag kémiailag lényegében változatlan (inaktív anyag), ellenkező esetben, ha a szilárdulásban kémiailag is részt vesz, a szemhalmazt (például a gázbetongyártási ❖ homokot vagy pernyét) nem tekintjük adalékanyagnak. Ha az adalékanyag kémiai átalakulása a szilárd betonban vagy habarcsban következik be, akkor az adalékanyag kémiai vagy mechano-kémiai károsodásáról beszélünk (például adalékanyag korrózió sav, lúg, szulfátion hatására, acélsalak-korrózió, alkálifém-oxid reakció ❖).

A habarcs adalékanyag legnagyobb szemnagysága legfeljebb 4 mm, a beton adalékanyag legnagyobb szemnagysága nagyobb, mint 4 mm, általában legalább 8 mm.

Az adalékanyag kiszárított állapotban, testsűrűsége ❖ szerint *nehéz (sugárvédő) adalékanyag* (> 3000 kg/m^3), vagy *közönséges (normál) adalékanyag* (2001-3000 kg/m^3), vagy *könnyű adalékanyag* (≤ 2000 kg/m^3). Az adalékanyagot akkor is könnyűnek tekintik, ha laza, kiszárított állapotban mért halmazsűrűsége nem több, mint 1200 kg/m^3 (MSZ EN 206-1:2002). A különleges tulajdonságú betonban és habarcsban betöltött szerepe alapján beszélünk *különleges adalékanyagról*.

Nehéz (sugárvédő) adalékanyag a barit (sulypát, eruptív telér kőzet), a magnetit (mágnesvasérc), a hematit (vörösvasérc), a limonit (barnavasérc), a fémvas (acélsörét, szabályos alakú, tiszta acélhulladék), a szerpentin (átalakult kőzet).

A közönséges (normál) adalékanyag általában természetes, ritkán mesterséges eredetű. A természetes eredetűek kőzetek, a mesterséges eredetűek ipari hulladékok:

- A legelterjedtebben használt természetes eredetű beton és habarcs adalékanyag a laza törmelékes kőzetek csoportjába tartozó homok, kavics, homokos kavics ❖, amely a víz (ritkán a szél, esetleg a gleccser) szállító hatására, természetes módon aprózódott, ezért általában törés nélkül, mosás és osztályozás után, ritkábban ezek nélkül is alkalmas beton és habarcs készítésére.

  A homok szemnagysága kisebb, mint 4 mm. Kvarctartalma általában több, mint 70 tömeg%. A kvarc kísérő ásványai a földpátok, muszkovit (csillám), biotit, gránát, amfibol, piroxén, kalcit stb. Ha a homok élő vízfolyásból származik, akkor folyami homok (szögletes szemalakú), ha egykor volt vízfolyás hordaléka vagy tó partján

található, akkor bányahomok (gömbölyű szemalakú), ha szélhordta, akkor futóhomok a neve.

A kavics szemnagysága nagyobb, mint 4 mm. Összetétele az anyakőzet összetételétől függ, így lehet például kvarckavics, andezitkavics, gránitkavics, mészkőkavics stb. A kavics a víz görgető munkája hatására legömbölyödött, és a homokhoz hasonlóan lehet folyami kavics vagy bányakavics. A kavics önmagában ritkán, általában homok jelenlétében fordul elő, ilyenkor homokos kavicsnak nevezzük.

A homok, kavics, homokos kavics kitermelése többnyire víz alól, kotrással történik, kivéve a kis mélységű homok előfordulásokat, valamint a futóhomokot.

- Összetöredezett, természetes aprózódású, szögletes szemalakú, laza törmelékes kőzet a murva (például dolomitmurva, gránitdara), amely ha időálló, akkor törés nélkül, közönséges (normál) adalékanyagként beton készítésére alkalmas lehet.
- Aprítani (törni, zúzni, őrölni), majd osztályozni kell a robbantással kitermelt (jövesztett) mélységi (például gránit), kiömlési (például bazalt, andezit, dácit, riolit, diabáz), összeálló törmelékes (például grauwacke), vegyi üledékes (például tömött mészkő, dolomit) kőzetekből származó adalékanyagot, amelynek szemalakja szögletes. A szemnagyságtól függően zúzottkőnek ❖, kőpornak (legnagyobb szemnagysága legfeljebb 4 mm), kőlisztnek (legnagyobb szemnagysága legfeljebb 0,63 mm) nevezzük. A kőpor és a kőliszt anyaga általában mészkő vagy dolomit.
- Mesterséges eredetű, közönséges (normál) adalékanyag az építőipari bontási törmelék ❖, mint a betontöret, esetleg a vegyes (beton + tégla) töret.

A jelentősebb, zúzott vagy granulált, és osztályozott *könnyű adalékanyagok* ❖ a következők:

- Természetes, ásványi eredetű: vulkáni tufa (riolittufa, dácittufa, andezittufa, bazalttufa), lávasalak (tufarétegek felszínére ömlött forró láva a nedves tufából felvett gőz miatt hólyagossá vált, ilyen például hólyagos bazalt), duzzasztott agyagkavics, duzzasztott perlit.
- Természetes, növényi eredetű: fagyapot, faforgács, rizshéj.
- Mesterséges, ipari melléktermék eredetű: kohóhabsalak, granulált kohósalak, pernyekavics, kazánsalak, agloporit.
- Mesterséges, kőolaj eredetű: polisztirol gyöngy.
- Mesterséges, hulladék eredetű: duzzasztott üvegkavics; építőipari bontási törmelék ❖, mint a téglatöret, esetleg a vegyes (beton + tégla) töret.

Különleges adalékanyag például

- A sugárvédő hidrátbeton készítéséhez használható bauxit (üledékes kőzet, a felhasználásával készült beton **nem** bauxitbeton ❖).
- A tűzállóbeton készítésére alkalmas samott zúzalék és liszt. A samott tűzálló (nagy kaolinit tartalmú) agyagból égetett kerámia.
- A különlegesen kopásálló betonok adalékanyaga a sziliciumkarbid, a korund, a bórkarbid, az öntöttvas stb. szem.
- A vízzáróságot fokozó töltőanyag, amely lehet például trasz (finom szemű, vagy finomra őrölt vulkáni tufa), kőliszt (például mészkőliszt), Ca-bentonit (elsősorban kovasav dús vulkáni tufák mállásából és hidrotermális elbontásából keletkezett agyag, amelynek legfontosabb ásványa a montmorillonit, és amelynek nagy a Ca kation adszorbeáló képessége).

Az adalékanyag jellemzése eredete, ásványi vagy kémiai összetétele, hidrotechnikai tulajdonságai (például vízfelvétel ❖), szilárdsági, kőzetfizikai tulajdonságai, szemszerkezete (szemmegoszlás ❖, szemalak ❖, érdesség), időállósága, tisztasága alapján történik.

A beton és a habarcs adalékanyaga általában többféle szemhalmaz (frakció) keveréke.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. október havi számának 10-11. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Homokos kavics, homok, kavics

Németül:	Sandkies, Sandiger Kies; Sand; Kies	
Angolul:	Sanded gravel; Sand; Gravel	
Franciául:	Gravier; Sable; Caillou	

A legelterjedtebben használt természetes eredetű, közönséges (normál) beton és habarcs adalékanyag ❖ a homok, kavics, homokos kavics, amely a víz (ritkán a szél, esetleg a gleccser) által szállított laza törmelékes kőzet, ezért általában törés nélkül, mosás és osztályozás után, ritkábban ezek nélkül is alkalmas beton és habarcs készítésére. A 4 mm alatti szemeket homoknak, a 4 mm felettieket kavicsnak nevezzük.

Az építési célú homokos kavicsot a partról sínen vagy hernyótalpon járó kotrókkal, a vízen markolós, vederláncos, hydropneumatikus úszókotrókkal, bányatavakból vagy folyókból termelik ki. A kikotort homokos kavicsot agyagrögtelenítik, majd vizesen, mosva osztályozzák, osztályozás után víztelenítik, a nagyobb kavics szemeket megtörik, majd a mosott, osztályozott anyagot (frakciókat) depóniákban tárolják. A depóniák alatt általában depónia-felszedő alagutak húzódnak, de a gépkocsira rakodás gumikerekű, forgó-felsővázas markolókkal is megoldott.

Az MSZ 18293:1979 *homok, homokos kavics és kavics termék szabvány* szerint a természetes, a kitermelés során nem módosított szemmegosztású anyag neve *nyerstermék* (homok vagy homokos kavics). Ha a nyerstermék előírt méreten felüli szemeit leválasztják, és mossák, akkor a *természetes szemmegoszlású termék* (homok vagy homokos kavics) áll elő. Az *előírt szemmegoszlású termék* (homok, homokos kavics) legkisebb szemnagysága zérus, és szemmegoszlási görbéje az előírt határgörbék között helyezkedik el. A nyerstermékből agyagrögtelenítéssel, osztályozással, mosással, töréssel előállított, meghatározott alsó és felső szemnagysághatárú termék az *osztályozott termék* (homok, kavics, gyöngykavics) nevet viseli, amelyet a gyakorlatban sokszor latin eredetű szóval, *frakció*nak hívnak. A *kavicsból tört termék* (homok, kavics, homokos kavics) legalább 90 tömeg% tört szemet tartalmaz, a *vegyes termék* (osztályozott homok, osztályozott kavics) a természetes aprózódású szemek mellett 10-90 tömeg% tört szemet is tartalmaz (MSZ 18293:1979). Az MSZ 4798:2004 szabvány szerint homok és kavics frakciókról, homokos kavics keverékekről beszélünk.

A hazai homokokat, kavicsokat, homokos kavicsokat túlnyomóan a nagyon ellenálló, kemény (Mohs-féle skálán 6,5-7,0) kvarc, kvarcit szemek alkotják, ezért Magyarországon a szilárdságukat, az időállóságukat, a szemalakjukat nem szokás vizsgálni. Az építési célú, természetes aprózódású homok, kavics, homokos kavics termékek minőségét az agyag-iszap tartalom, az agyagrögök mennyisége, a szerves szennyeződés, a szulfáttartalom, a kloridtartalom, a legkisebb és a legnagyobb szemnagyság, az osztályozás élessége, a szemmegoszlás ❖ határozza meg. A kavicsból tört termékek minőségét az aprítási technológia is befolyásolja, ezért ezek Los Angeles aprózódását, szulfátos kristályosítási veszteségét, szemalakját ❖ is meg kell vizsgálni. (MSZ 18293:1979 és MSZ 4798:2004)

A betontechnológiai követelményeket messzemenően figyelembe vevő MSZ 18293:1979 nemzeti termék szabvánnyal szemben az MSZ EN 12620:2003 európai szabvány kifejezetten *beton adalékanyag szabvány*, amelynek alkalmazási területe a homokos kavics, homok, kavics adalékanyagokra is kiterjed. A két szabvány szemléletbeli különbségét jól tükrözi, hogy míg a nemzeti szabványban a „beton” szót, addig az európai szabványban a „kavics termék” kifejezést hiába keresnénk. Bár voltaképpen az európai szabvány is termék szabvány, sőt harmonizált termék szabvány ❖, mégsem alkalmaz olyan egyértelmű, a termék mineműségére és minőségi osztályára

utaló, a felhasználók műszaki irányelvében is érvényesíthető jelölés rendszert, mint a nemzeti szabvány. Ezen a gondon az MSZ 4798:2004 szabvány valamelyest enyhít.

Az MSZ EN 12620:2003 európai szabvány a *durva kőanyaghalmaz* (grobe Gesteinskörnung, coarse aggregate), a *finom kőanyaghalmaz* (feine Gesteinskörnung, fine aggregate), az *osztályozott kőanyaghalmaz* (Korngruppe, aggregate size), a *kőanyag keverék* (Korngemisch, all-in aggregate), a *természetes szemmegoszlású kőanyaghalmaz* (natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung, natural graded aggregate), és a *kőliszt* (Füller = Gesteinsmehl, filler aggregate), valamint a *finomrész* (Feinanteil, fines) fogalmát ismeri.

A *durva kőanyaghalmaz* legkisebb szemnagysága d ≥ 2 mm, legnagyobb szemnagysága D ≥ 4 mm (eszerint a 2/4 mm szemhalmazhatárú osztályozott homok durva kőanyaghalmaznak számít), a *finom kőanyaghalmaz* (amely törésből is származhat) legnagyobb szemnagysága D ≤ 4 mm, legkisebb szemnagysága d = 0. Az „osztályozott termék”-nek, „frakció”-nak megfelelő *osztályozott kőanyaghalmaz* legkisebb szemnagysága d > 0 mm, és legkisebb és legnagyobb szemnagyságának hányadosa d/D. Az „előírt szemmegoszlású termék” neve *kőanyag keverék*, legnagyobb szemnagysága D ≤ 45 mm, legkisebb szemnagysága d = 0, és szemmegoszlási görbéje határértékek között kell, hogy elhelyezkedjék. A *természetes szemmegoszlású,* glaciális vagy folyami eredetű, de keveréssel is előállítható *kőanyaghalmaz* legnagyobb szemnagysága D ≤ 8 mm, legkisebb szemnagysága d = 0. A *kőliszt* és a *finomrész* legnagyobb szemnagysága D ≤ 0,063 mm. (MSZ EN 12620:2003)

A közönséges (normál) betonok adalékanyagaként használt kőanyaghalmazok minőségét a kőzettani összetétel, a szemmegoszlás ❖, a finomrész tartalom, a durva szemek mikro-Deval aprózódása, a szervesanyag és egyéb, a habarcs kötésidejét növelő és nyomószilárdságát csökkentő káros anyag tartalom; továbbá szükség esetén a durva szemek szemalakja ❖, kagylóhéj tartalma, Los Angeles és ütési aprózódása, csiszolódási, kopási és szöges gumiabroncs ellenállása, fagyállósága; valamint szükség esetén a testsűrűség ❖, a vízfelvétel ❖, a halmazsűrűség ❖, a térfogatállandóság, a hajlam az alkálifém-oxid - szilikát reakcióra ❖, a kloridtartalom, a szulfáttartalom, a homok-egyenérték, a metilénkék-oldat adszorpció, a magnézium-szulfátos kristályosítási veszteség, az olvasztósó-állóság határozza meg. (MSZ EN 12620:2003)

Az MSZ EN 13139:2003 európai, harmonizált *habarcs adalékanyag szabvány* felfogásában és felépítésében alig különbözik az MSZ EN 12620:2003 európai beton adalékanyag szabványtól. Tárgykörébe tartozik a 4 mm alatti, d = 0 legkisebb szemnagyságú („homok”), a 2/4 mm szemnagyságú („osztályozott homok”), a 0/8 mm szemnagyságú („homokos kavics”), és a 2/8 mm szemnagyságú („osztályozott homokos kavics”) kőanyaghalmaz.

A habarcsok adalékanyagaként használt kőanyaghalmazok minőségét a kőzettani összetétel, a szemmegoszlás ❖, a finomrész tartalom, a testsűrűség, a vízfelvétel, a kloridtartalom, a szulfáttartalom, a szervesanyag és egyéb, a habarcs kötésidejét növelő és nyomószilárdságát csökkentő káros anyag tartalom; továbbá szükség esetén a durva szemek szemalakja ❖, kagylóhéj tartalma, fagyállósága, a hajlam az alkálifém-oxid - szilikát reakcióra ❖, a homok-egyenérték, a metilénkék-oldat adszorpció határozza meg. (MSZ EN 13139:2003)

Meg kell említeni, hogy az MSZ EN 12620:2003 és az MSZ EN 13139:2003 európai szabványokban a finom kőanyaghalmazok finomsági modulusát ❖ a 0,125 mm nagyságú szita kezdőértékkel számítják ki. Az európai szabványok a durva és egyéb kőanyaghalmazok finomsági modulusáról nem tesznek említést.

Felhasznált irodalom:

MSZ 18293:1979 Homok, homokos kavics és kavics (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)
MSZ 4798:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 12620:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz
MSZ EN 13139:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) habarcshoz

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2003. december havi számának 16-17. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Zúzottkő

Németül:	Brechsand (< 4 mm), Splitt (4-32 mm), Schotter (> 32 mm)
Angolul:	Chrushed stone
Franciául:	Pierres cassées, concassé

Robbantás a kőbányában

A zúzottkő, amely elsősorban aszfalt adalékanyag és vasúti ágyazati kő, a közönséges (normál) betonnak is természetes eredetű adalékanyaga ❖. Az 5 mm alatti szemeket szokás zúzaléknak is nevezni. A beton- és vasbetonépítésben zúzottkő alkalmazására vagy akkor kerül sor, amikor homokos kavics ❖ adalékanyag az építési hely közelében nem található, vagy amikor alkalmazásával az építési célnak jobban megfelelő beton készíthető. A zúzottkő adalékanyagú beton neve zúzottkőbeton. Ha a kőőrleményeket is zúzottkőnek tekintjük, akkor a zúzottkő, mint például a kőpor, a habarcsnak és a műkőnek is adalékanyaga.

A beton adalékanyagként felhasználható zúzottkő eredetét tekintve mélységi (például gránit), kiömlési (például bazalt, andezit, dácit, riolit, diabáz), összeálló törmelékes (például grauwacke), vegyi üledékes (például tömött mészkő, dolomit) kőzet. A kőanyagokat és termékeiket a jobb minőségtől a gyengébb felé haladva, A, B, C, D jelű (MSZ 18291:1978) illetve az útépítésben AA, BB, CC, DD jelű (ÚT 2-3.601:1998) kőzetfizikai csoportokba soroljuk. A kőzetfizikai csoportok az MSZ 4798:2004 szabvány szerint: Kf-0, Kf-A, Kf-B, Kf-C1, Kf-C2, Kf-D1, Kf-D2.

A zúzottkő gyártás során a kőbányában a fedőrétegtől megtisztított bányafal szakaszt fúrólyukakba helyezett töltetekkel lerobbantják. A jövesztett kőanyagot meddő leválasztás után előtörő berendezésben (többnyire nagyméretű pofástörőn, amelynek garatnyílása akár 1,0 m is lehet) durván megtörik, és előosztályozóra (vibrorosta) szállítják. Az előosztályozó leválasztja a durvább szemeket, amelyek tovább törésre kerülnek. A finomabb szemeket többsíkú vibrorostákkal osztályozzák, frakciókra bontják. Ezek képezik az „egyszer tört”, ún. „Z” illetve az útépítésben „UZ” (zúzottkő) termékosztályokat. Az előosztályozóról lekerülő durvább szemeket utántörik (általában kúpostörőben, kalapácsos törőben, röpítő törőben stb.) és többsíkú vibrorostákkal, rezonancia szitákkal stb. osztályozzák, szükség esetén a durvább szemeket visszajuttatják az utántörőbe. Ezek a „kétszer tört” frakciók általában kielégítik az ún. „NZ” illetve az útépítésben „UNZ” (nemes zúzottkő) termékosztályok követelményét. A „KZ” illetve az útépítésben „UKZ” (különleges zúzottkő) termékosztályokat vagy különleges törőkkel (például röpítőtörő) vagy többszöri töréssel, és igen gondos osztályozással állítják elő. A késztermékeket

depóniákban tárolják, ahonnan a közúti és gépkocsi, esetleg a vízi úton történő szállítás egyaránt megoldott. (MSZ 18291:1978, ÚT 2-3.601:1998)

A zúzottkő anyagtani minőségét a kőzettani jellemzőkön túl a *kőzetfizikai*, és a kőbányászati feldolgozás során szerzett *technológiai* tulajdonságokkal fejezzük ki, megjegyezve, hogy a technikai tulajdonságok (például a szemalak) visszahatnak a termék kőzetfizikai tulajdonságaira (például a Los Angeles aprózódásra). A kőzetfizikai tulajdonságokat nem csak terméken, hanem kőzettömbből vagy fúrásmagból laboratóriumban kialakított vizsgálati mintán is meg lehet határozni.

Termékminősítő kőzetfizikai tulajdonság

- szilárdság, az ütés- és kopásállóság, amelyet a Los Angeles, Deval, mikro-Deval, csiszolódás vizsgálat eredményével jellemzünk,
- az időállóság, amelyet a szulfátos kristályosítási vizsgálat eredményével jellemzünk;

Termékminősítő technológiai tulajdonság

- a szemmegoszlás ❖, az osztályozás élessége, amelyet a szitavizsgálat eredményével jellemzünk,
- a finomszemek (0,02 mm-nél kisebb szemek) mennyisége, amelyet hidrometrálással vizsgálunk,
- a szemalak ❖, amelyet szemalak vizsgáló eszközökkel határozunk meg,
- a szerves vagy szervetlen (beleértve az agyag- és iszaptartalmat) szennyeződések, amelyeket szemrevételezéssel vagy kémiai elemzéssel vizsgálunk. (MSZ 18291:1978, ÚT 2-3.601:1998)

Az MSZ EN 12620:2003 európai beton adalékanyag szabvány nem tesz különbséget a természetes aprózódású homokos kavics, homok, kavics ❖ és a művi úton tört zúzottkő (zúzalék) között, ezért a szabvány a beton adalékanyagul szolgáló zúzottkövekre is érvényes, így értelemszerűen kell alkalmazni. A zúzottkő mindenek előtt aszfalt adalékanyag, ezért az MSZ EN 13043:2003 európai szabvány tárgykörébe is tartozik. Az MSZ EN 13043:2003 aszfalt adalékanyag szabvány felépítésében alig különbözik az MSZ EN 12620:2003 beton adalékanyag szabványtól, de némely követelménye (például a szemalak) annál szigorúbb. Az európai beton és aszfalt adalékanyag szabványok a magyar nemzeti zúzottkő szabványtól és előírástól több vonatkozásban (például szemnagyságok, szemalak, Los Angeles aprózódás) is eltérnek.

Felhasznált irodalom:

Beton-Kalender 1972. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Berlin-München-Düsseldorf, 1972. II. kötet. p. 5.
MSZ 18291:1978 Zúzottkő (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)
ÚT 2-3.601:1998 Útépítési zúzott kőanyagok. Útügyi műszaki előírás
MSZ 4798:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 12620:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz
MSZ EN 13043:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületkezeléséhez

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2004. január havi számának 16-17. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Bontott, újrahasznosított adalékanyag

Németül:	Rezyklierter Zuschlag(stoff), Rezyklierte Gesteinskörnung
Angolul:	Recycled aggregate
Franciául:	Granulat recyclé

Bontott építési törmeléket feldolgozó mobil gépsor

A régi épületek és szerkezetek, útpályaburkolatok bontási törmelékét kellő fizikai feldolgozás után, anyagszerkezeti (kémiai) átalakítás nélkül, beton-adalékanyagként újra fel lehet használni. A bontott építési hulladékot lehetőleg építőanyag fajtánként dolgozzák fel. A feldolgozást mobil gépsoron szokták végezni, amelynek anyagfogadó bunkerébe a bontott törmeléket hidraulikus törőfejjel is ellátott rakodógéppel szállítják. A mobil gépsor előosztályozóból, pofás előtörőből és a kihordó szalaghoz illesztett vastalanítóból áll. Az előosztályozásnál kiosztályozott finom anyagot szállítószalaggal oldalra hordják, az nem kerül az előtörőre. Az előtört és betonvasaktól megtisztított bontott anyagot rakodógéppel vagy szállítószalaggal általában mobil osztályozó berendezésre juttatják, amely a törmeléket a betontechnológiában szokásos adalékanyag frakciókra bontja. Az osztályozott frakciókat a tárolótéren elkülönítve helyezik el.

A bontási törmelékek újrahasznosítására lehetőséget ad az MSZ EN 206-1:2002 beton szabvány, amely kimondja, hogy „az adalékanyagok lehetnek természetesek, mesterségesek vagy korábbi szerkezetekből újra hasznosított anyagok”. A bontott, újrahasznosított adalékanyagok betonkészítéshez való felhasználhatóságának feltételeivel az MSZ EN 206-1:2002 szabvány nem foglalkozik, és annak nemzeti alkalmazási dokumentuma (MSZ 4798) is csak annyit tartalmaz, hogy egyebek mellett „…az újrahasznosított adalékanyagok kőzettani, kőzetfizikai, kémiai tulajdonságai (is) rendkívül változatosak, ezért azok beton adalékanyagként való alkalmasságát első sorban ezek a tulajdonságok döntik el, amelyeket mindenkor meg kell vizsgálni”.

A harmonizált ❖ MSZ EN 12620:2003 beton-adalékanyag (homokos kavics, kavics ❖), MSZ EN 13139:2003 habarcs-adalékanyag (homok ❖), MSZ EN 13043:2003 aszfalt-adalékanyag (zúzottkő ❖), MSZ EN 13055-1:2003 könnyű-adalékanyag ❖ szabványok érvénye is kiterjed a bontott, újrahasznosított adalékanyagok tulajdonságaira. E szabványok szerint az olyan adalékanyagokat, mint például a bontott adalékanyagok, amelyek alkalmazására nincs kellő tapasztalat, gondosan meg kell vizsgálni, és kedvező vizsgálati eredmény esetén is szükség lehet a

mindenkori alkalmazási területre vonatkozó külön szabályozásra. Ezek a szabványok az építési termékekre vonatkozó európai irányelvek (direktívák) követelményeinek teljesülését tárgyaló ZA.1 mellékletben megjegyzik, hogy az érvényük alá tartozó valamennyi adalékanyag követelmény-rendszere további követelményekkel kiegészíthető, például az európai szabvánnyal együtt érvényes nemzeti előírás alakjában. Magyarországon az - a bontott, újrahasznosított adalékanyagokat is érintő - európai adalékanyag szabványok nemzeti alkalmazási dokumentumának kidolgozása még várat magára. A bontott építési törmelék adalékanyagú beton beton- és vasbetonépítési irányelvét a *fib Magyar Tagozata* 2004-ben tervezi kiadni.

A bontott adalékanyag kiszárított állapotban meghatározott testsűrűsége, kiszárított és laza állapotban mért halmazsűrűsége alapján közönséges (normál) adalékanyag vagy könnyű-adalékanyag ❖ lehet, és a szilárd, kiszárított, 28 napos korú beton testsűrűsége alapján közönséges (normál) beton vagy könnyűbeton ❖ adalékanyaga lehet. A bontott adalékanyag közönséges adalékanyag, ha a testsűrűsége > 2000 kg/m^3 és < 3000 kg/m^3, és könnyű-adalékanyag, ha a testsűrűsége ≤ 2000 kg/m^3 és halmazsűrűsége ≤ 1200 kg/m^3. A bontott adalékanyagú beton közönséges beton, ha a testsűrűsége 28 napos korban > 2000 kg/m^3 és ≤ 2600 kg/m^3, és könnyűbeton, ha a testsűrűsége 28 napos korban ≥ 800 kg/m^3 és ≤ 2000 kg/m^3.

Újrahasznosított beton-adalékanyagként legelterjedtebben a beton, a vegyes, és a tégla törmeléket használják fel. Ezek csoportba sorolása a bontott törmelék 4 mm feletti szemnagyságú szemeinek építőanyagok szerinti összetétele alapján történhet:

Bontott, újrahasznosított adalékanyagok csoport beosztása az építőanyagok szerinti összetétel alapján	Beton szemek	Tégla szemek	Habarcs szemek
	aránya a bontott törmelék 4 mm szemnagyság feletti tartományában, tömeg%		
Beton törmelék	85 - 100	0 - 13	0 - 2
Beton-tégla vegyes törmelék	50 - 85	13 - 43	2 - 7
Tégla-beton vegyes törmelék	15 - 50	43 - 73	7 - 12
Tégla törmelék	0 - 15	73 - 86	12 - 14
feltételezve, hogy	b_1 - b_2	t_1 - t_2	h_1 - h_2
akkor	$b_1 + t_2 + h_2 =$ $=100$	$b_2 + t_1 + h_1 =$ $=100$	$h_i = t_i/6$
Például tégla-beton vegyes törmelék esetén: $b_1 = 15$, $t_2 = 73$, $h_2 = 12$, akkor $b_1 + t_2 + h_2 =$ 100			

A sűrűségi jellemzők alapján a *beton törmelék* közönséges adalékanyagnak, a *beton-tégla vegyes törmelék* általában könnyű-adalékanyagnak, a *tégla-beton vegyes törmelék* és a *tégla törmelék* könnyű-adalékanyagnak minősül. E különbség tétel a bontott, újrahasznosított beton tervezése szempontjából is fontos.

A sikeres betontervezéshez meg kell határozni a bontott, újrahasznosított adalékanyag építőanyagok szerinti összetételét, idegen anyag tartalmát szemrevételezéssel, testsűrűségét (MSZ EN 1097-6:2001), halmazsűrűségét (MSZ EN 1097-3:2000), vízfelvételét (MSZ EN 1097-6:2001), látszólagos porozitását ❖, fagyállóságát (MSZ EN 1367-1:2000, könnyű adalékanyag esetén: MSZ EN 13055-1:2003), szemmegoszlását (MSZ EN 933-1:1998), finomsági modulusát (MSZ 18288-5:1981), 0,02 mm alatti szemeinek térfogat%-át ülepítéssel (MSZ 18288-2:1984), oldható szulfát és klorid tartalmát (MSZ 18288-4:1984), szemalakját tolómérővel (MSZ EN 933-4:2000) illetve kifolyási tölcsérrel (MSZ 18288-3:1978). Beton törmelék esetén a kőzetfizikai csoportba soroláshoz (MSZ 18291:1978, ÚT 2-3.601:1998, MSZ 4798:2004) ismerni kell a Los Angeles (MSZ 18287-1:1990, MSZ EN 1097-2:2000), a mikro-Deval (MSZ 18287-6:1984, MSZ EN 1097-1:1998), esetleg a Deval (MSZ 18287-2:1983) aprózódást és a szulfátos kristályosítási veszteséget (MSZ 18289-3:1985, MSZ EN 1367-2:1999), könnyű adalékanyag esetén a halmaz-szilárdságot (MSZ EN 13055-1:2003). A kőanyaghalmazok olvasztósó-állóságának vizsgálatával kapcsolatban az MSZ EN 1367-1:2000 szabvány ad tájékoztatást.

Ha a bontott adalékanyag minősége a gondos feldolgozás ellenére sem felel meg a vonatkozó európai adalékanyag szabvány követelményének vagy beton illetve könnyűbeton készítés céljára nem alkalmas, akkor a tulajdonságait természetes adalékanyag hozzákeverésével lehet javítani.

Felhasznált irodalom ide kattintva olvasható.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2004. április havi számának 14-15. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Szemmegoszlás (szemeloszlás, szemszerkezet, szemcseméret eloszlás, szemcsenagyság összetétel)	
Németül:	Szemmegoszlás: Szemmegoszlás vizsgálat: Szemmegoszlási görbe:	Korngrößenverteilung, Kornzusammensetzung Siebverfahren (szitavizsgálat) Sieblinie
Angolul:	Szemmegoszlás: Szemmegoszlás vizsgálat: Szemmegoszlási görbe:	Grading, particle size distribution Granulometry, sieving method (szitavizsgálat) Grading curve
Franciául:	Szemmegoszlás: Szemmegoszlás vizsgálat: Szemmegoszlási görbe:	Composition granulométrique, granularité Granulométrie, analyse granulométrique Courbe granulométrique

A szemmegoszlás (szemeloszlás) a szemhalmazok (cementek ❖, adalékanyagok ❖, zúzottkövek ❖, kőanyag és egyéb őrlemények stb.) fontos geometriai tulajdonsága, amely a szemnagyság szerinti összetétel kifejezője. Sokszor szemszerkezetnek is nevezik, valójában a szemmegoszlás a többi geometriai fogalommal, a szemalakkal ❖ és a szemérdességgel együtt alkotja a szemszerkezetet.

A szemmegoszlás elméletileg valamely adott szemnagyságnál kisebb szemek tömegének az összes szem tömegéhez viszonyított hányadosa, a szemnagyságok összességére, tömegarányban (vagy tömeg%-ban) kifejezve, ha valamennyi szem testsűrűsége ❖ azonos. Ha a szemek testsűrűsége nem azonos, akkor lévén geometriai fogalomról szó, a szemmegoszlást a szemek térfogat viszonyainak kifejezőjeként, térfogatarányban (vagy térfogat%-ban) kell értelmezni. Az elméleti fogalom a gyakorlat számára számos további fogalmi és eljárásbeli kérdés megfogalmazását teszi szükségessé.

A szemnagyságot a szabálytalan alakú, érdes felületű szemek idealizálásával, a helyettesítő, sima felületű gömb átmérőjével fejezzük ki. A szemnagyság meghatározása a szemek nagy számára tekintettel nem egyenként, hanem halmazos eljárással, szemmegoszlás vizsgálattal történik, ami valószínűségi folyamat, ezért eredménye a matematikai statisztika eszközeivel írható le. A szemnagyság meghatározás (szemmegoszlás vizsgálat) halmazos eljárása 0,063 mm szemnagyság felett a szitavizsgálat, 0,063 mm szemnagyság alatt az ülepítés. Gyakorlati értelemben a szemnagyság 0,063 mm felett annak a legkisebb négyzetes nyílású szitának a nyílása, amelyen a szem még áteshet, 0,063 mm alatt pedig az ülepítés eredményéből (a *Stokes* törvény felhasználásával) számított gömbátmérő [*Beke*, 1963.].

1. megjegyzés: 1972 óta az ipari gyakorlatban az osztályozásnál és a laboratóriumi szitavizsgálat során is valamennyi szita négyzetes nyílású (németül: Maschensieb és Quadratlochsieb). 1972 előtt a 3,0 mm-nél nagyobb lyukbőségű sziták nyílása köralakú (németül: Rundlochsieb) volt [Beton-Kalender 1972. II. kötet p. 6.]. Az átszámítás a kör átmérője (Φ) és a megfelelő négyzet oldalhossza (□) között: $0{,}8 \cdot \Phi = \square$. Általában a 3,0 mm-nél kisebb lyukbőségű, négyzetes nyílású sziták fémfonatosak (németül: Maschensieb), a 3,0 mm-nél nagyobb lyukbőségű, ugyancsak négyzetes nyílású sziták lyukasztott acél-, gumi-, műanyaglemezek (németül: Quadratlochsieb). A lyukasztott lemezeket sok esetben, de nem kizárólag, rostáknak is nevezik.

2. megjegyzés: Ha a szabálytalan alakú szemet olyan ellipszoiddal helyettesítjük, amelynek fő méretei „h” hosszúság > „s” szélesség > „v” vastagság, akkor ez az ellipszoid elméletileg az „s” nyílású szitán esik át, következésképpen a szemnagyság a szem „s” szélesség

méretének felel meg, és „d” betűvel jelölik. A legnagyobb szemnagyság ❖ jele: d_{max}, D_{max}, a legkisebbé d_{min}.

Az adalékanyag szemmegoszlás vizsgálatát szitálással az MSZ 18288-1:1991 nemzeti, illetve az MSZ EN 933-1:1998 európai, ülepítéssel az MSZ 18288-2:1984 nemzeti, illetve homokegyenérték módszerrel az MSZ EN 933-8:1999 európai, metilénkék módszerrel az MSZ EN 933-9:1999 európai szabvány szerint lehet elvégezni. A cementek őrlési finomságát az MSZ EN 196-6:1992 európai szabvány szerint kell meghatározni.

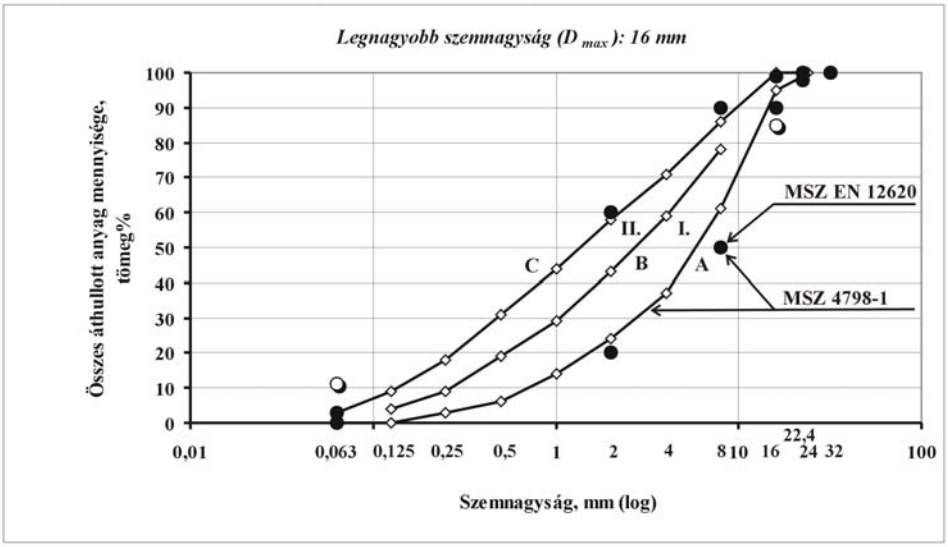
3. megjegyzés: A visszavont nemzeti szabványok irodalomként továbbra is használhatók és hivatkozhatók.

Az MSZ EN 933-1:1998 európai szabvány a szitavizsgálatot kiszárított, majd megmosott, azután újra kiszárított és lehűlt mintán végezteti el. A mosóvízzel eltávozott finomrész mennyiségét a mosás előtti és utáni tömegmérésből meg kell határozni, és hozzá kell adni a szitavizsgálat során a 0,063 mm nyílású szitán áthullott anyaghoz. Az alkalmazandó vizsgálósziták az MSZ EN 933-2:1998 európai szabvány szerint a 0,063 mm nyílású kezdő szitához tartozó, a *Tyler*-féle szitasorból kialakult „duplázódó” nyílású sziták sora, illetve az ISO 565:1990 nemzetközi szabvány R20 jelű szitasorozatából kiválasztott, egyébként szükséges sziták. Az R20 jelű szitasorozat nyílásai 0,063 mm és 125 mm között $10^{1/20} = 10^{0,05} = 1,122$ arányban, az MSZ 18288-1:1991 nemzeti és az MSZ EN 933-2:1998 európai szabványok „duplázódó” szitanyílásai $10^{lg2} = 10^{0,30103} = 10^{6,0206/20} \sim 10^{6/20} = (10^{1/20})^6 = 2$ arányban emelkednek, azaz az R20 jelű nemzetközi szitasorozat minden hatodik tagjával találkoznak (például: *0,063*; 0,071; 0,079; 0,089; 0,100; 0,112; *0,125* mm).

A szemmegoszlás vizsgálat eredménye a folytonos (nem szakadásos), tapasztalati szemmegoszlási görbe, amelynek független változója a szemnagyság, függő változója a szitanyíláson átesett összes szem tömegaránya vagy tömeg%-a (esetleg térfogataránya vagy térfogat%-a). A szemmegoszlási görbét célszerűen logaritmus beosztású, általában 0,063 mm szemnagyságnál kezdődő abszcisszatengely felett szokás (Magyarországon kell) ábrázolni. Ilyen ábrázolásmód mellett a duplázódó szitanyílások az abszcisszatengelyen log2 távolságra esnek egymástól. A szemmegoszlás lehet folytonos (a görbe érintője legfeljebb csak a d_{min} és d_{max} helyen vízszintes), lehet közel egyszemű és lehet szemhiányos, amit lépcsősnek is neveznek. A lépcsők megengedett száma általában egy, legfeljebb kettő, hosszuk log2, esetleg 2•lg2 lehet, és értelemszerűen a szemtartomány második negyedében (például 16 mm legnagyobb szemnagyság esetén 4-8 mm, esetleg 2-8 mm) között kell elhelyezkedniük.

4. megjegyzés: A lépcsős szemmegoszlással készült betonokat hazánkban először *Mihailich Győző* műegyetemi tanár vizsgálta 1941-ben. Megállapította, hogy a lépcsős szemmegoszlású adalékanyagok gyakran épp oly jók beton készítésre, mint a folytonos szemmegoszlásúak.

A nemzeti és európai betonadalékanyag termékszabványok illetve az MSZ EN 206-1:2002 európai betonszabvány nemzeti alkalmazási dokumentuma (NAD, amely az MSZ 4798-1:2004 számot viseli) szerint a szemmegoszlási görbéknek lényegében a legnagyobb halmaztömörségek tartományát határoló határgörbék illetve a határértékek között kell futniuk, de ebben a tekintetben szerepe van a finomsági modulusnak ❖ is. A határgörbék és a határértékek abszcissza pontjait a szabványos szitasorozatok tagjainak szitanyílásai adják. A homok, homokos kavics és kavics termékek régi MSZ 18293-1979 nemzeti szabvány szerinti „duplázódó” szitasora és az európai betonadalékanyag ❖ termékszabvány (MSZ EN 12620:2003), valamint az új nemzeti beton ❖ szabvány (MSZ 4798-1:2004) „duplázódó” szitasorai között nincs lényeges különbség, ezért a nemzeti homok, homokos kavics és kavics határgörbék könnyen illeszthetők az európai szemmegoszlási határértékek közé (*1. ábra*).



1. ábra. Betonadalékanyag szemmegoszlási határgörbék és határértékek

A zúzottkövek tekintetében a beton- és aszfalttechnológia eltéréseiből kifolyólag kissé más a helyzet. A beton és az aszfalt technológia egyik különbségét az adja, hogy míg a beton- és vasbetonszerkezet eleme általában egy rétegben készül és keresztmetszetében homogén, addig az aszfaltútburkolat általában többrétegű, különböző legnagyobb szemnagyságú aszfaltrétegek egymásra építésével készül, így keresztmetszetében nem homogén. Az aszfaltrétegek illetve frakcióiknak hazai szemnagysághatárai, és az ezekhez igazodó zúzottkő frakcióhatárok (ÚT 2-3.601:2005) ezért nem mindenhol egyeznek meg a betontechnológia „duplázódó" frakcióhatáraival. A zúzottkőbeton ❖ készítése során erre a különbségre, amíg fennáll, figyelemmel kell lenni. Meg kell jegyezni, hogy az útbetonokra külön európai szabvány kiadása várható.

A tapasztalati szemmegoszlási görbe az elméleti eloszlás görbe közelítése. Az elméleti eloszlás görbe függvény alakjának felírásával és a szemeloszlás jellemzők analitikus számításával sokan foglalkoztak. Elsőként *Gates* 1915-ben, majd ezt követően a legnevesebbek, *Gaudin* 1926ban, *Rosin*, *Rammler* és *Sperling* 1933-ban, *Bennett* 1936-ban, *Schuhmann* 1940-ben, *Kolmogorov* 1941-ben, *Rényi* 1950-ben, *Fáy* és *Zselev* 1961-ben publikálták az őrlemények szemeloszlására vonatkozó elméletüket. Ezek az elméletek egymástól nem függetlenek. A *Fáy-Zselev*-féle renormált lognormális eloszlás a *Kolmogorov* és *Rényi* által alkalmazott lognormális eloszlásból redukciós tényezővel számítható. A lognormális eloszlást a normális eloszlásból lehet a független változó transzformációjával előállítani. A normális eloszlás és a *Rosin-Rammler* eloszlás egyaránt az *e*-alapú exponenciális függvény származéka, amiből kapcsolatuk kimutatható. A *Rosin-Rammler* eloszlás sorba fejtett alakjának első tagja a *Schuhmann* eloszlást szolgáltatja. Ezek az elméletek többnyire a cement, a szénpor stb. aprításával kapcsolatosak, így többségükben a finomszemek tartományára vonatkoznak, (de például *Rényi Alfréd* egyetemi tanár elméletéhez *Lázár Jenő* okl. villamos mérnök kőtörési kísérletei szolgáltatták az adatokat), következésképpen a beton- és az aszfaltépítésben kevéssé terjedtek el, mégis az adalékanyagok szemmegoszlás jellemzői ❖ számításának alapját adják [*Kausay*, 1975.].

A betontervezés ❖ folyamatához hozzátartozik a legkedvezőbb - a legnagyobb halmaztömörségű illetve legkisebb hézagtérfogatú - szemmegoszlás keresése. *Fuller* 1907-ben központi elhelyezkedésű másodfokú parabola alakjában írta fel a legtömörebb adalékanyag szemmegoszlás függvényét. Más alakú görbéket javasolt többek között *Bolomey* 1926-ban, *Palotás* 1936-ban, *Graf* 1950-ben [*Palotás*, 1980.]. Az újabb kutatási

eredmények a betonadalékanyag víz- és pépigényének meghatározását teszik lehetővé a szemmegoszlás függvényében [*Ujhelyi*, 1995].

A szemmegoszlás tervezés ❖ a szemmegoszlási görbe számszerűsítését teszi szükségessé. Ilyen számok a szemmegoszlás jellemzők ❖, és azok legfontosabbika, a finomsági modulus ❖.

Felhasznált irodalom:

Beke Béla: Aprításelmélet. Szilikátkémiai monográfiák IV. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.

Beton-Kalender 1972. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Berlin-München-Düsseldorf, 1972.

Palotás László - Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 3. kötet. Beton - habarcs - kerámia - műanyag. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Kausay Tibor: Homokos kavicsok és zúzott adalékanyagok szemeloszlásjellemzőinek analitikus megállapítása. Mélyépítéstudományi Szemle. XXV. évf. 1975. 4. szám. p. 155-164.

Ujhelyi János: Beton és vasbeton készítése (MÉASZ ME-04.19:1995 műszaki előírás)

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ 18288-1:1991 Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. A szemmegoszlás vizsgálata szitálással (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)

MSZ 18288-2:1984 Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlás vizsgálata ülepítéssel (Megjegyzés: A nemzeti szabvány irodalomként érvénytelenítése után is használható.)

MSZ EN 933-1:1998 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat

MSZ EN 933-2:1998 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Vizsgálósziták, a szitanyílások névleges mérete

MSZ EN 933-8:1999 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 8. rész: A finomszemtartalom meghatározása. Homokegyenérték-módszer

MSZ EN 933-9:1999 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 9. rész: A finomszemtartalom meghatározása. Metilénkék módszer

MSZ EN 196-6:1992 Cementvizsgálati módszerek. 6. rész: Az őrlési finomság meghatározása

MSZ EN 206-1:2002 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség

MSZ EN 12620:2003 Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz

ISO 565:1990 Test sieves. Woven metal wire cloth, perforated plate and electroformed sheel. Nominal size of openings

ÚT 2-3.601:2005 Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok

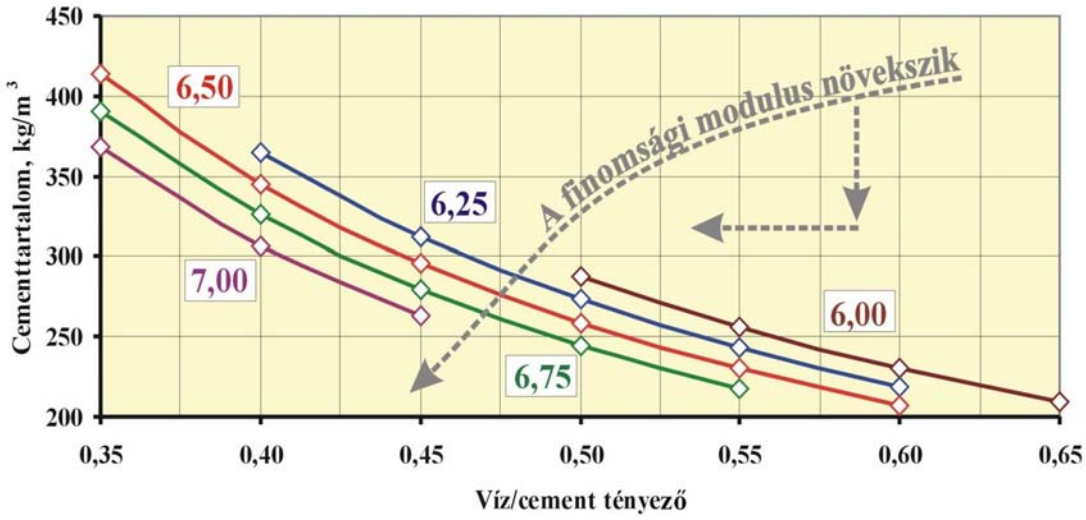
Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2004. május havi számának 8-10. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Finomsági modulus és Hummel-féle terület	
Németül:	Finomsági modulus: Hummel-féle terület:	Feinheitsmodul Hummel-Fläche
Angolul:	Finomsági modulus: Hummel-féle terület:	Fineness modulus Hummel-area
Franciául:	Finomsági modulus: Hummel-féle terület:	Module de finesse Hummel-aire

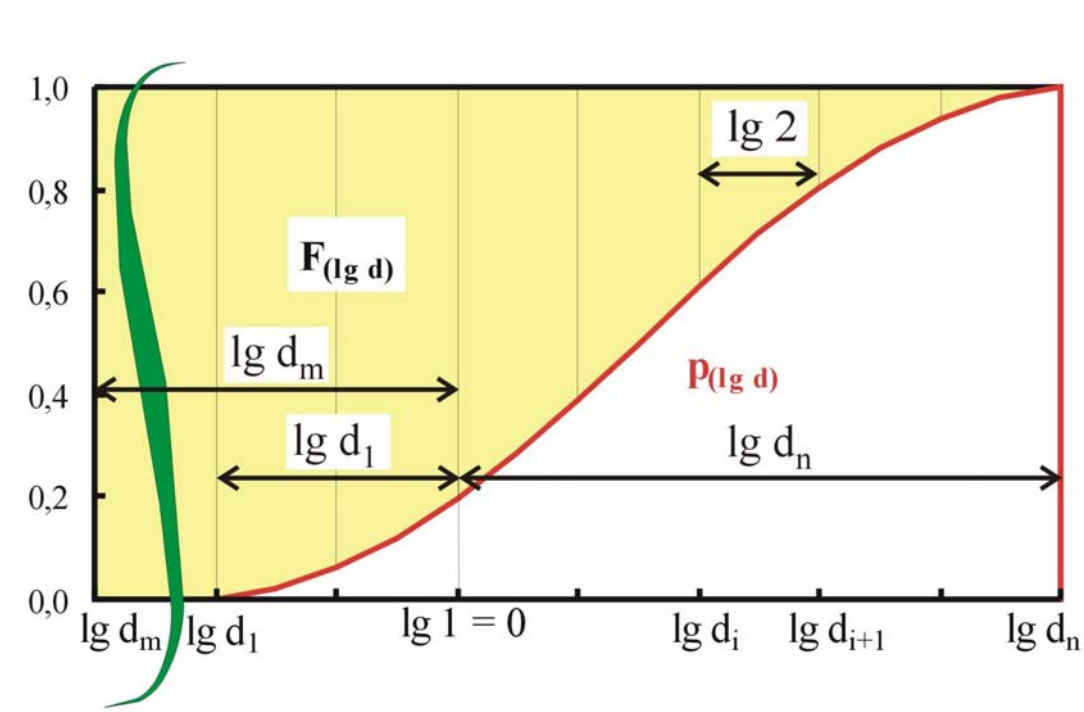
A grafikus megjelenésű adalékanyag szemmegoszlási görbék számszerű jellemzői a szemmegoszlási jellemzők ❖, amelyek közül a legnagyobb szemnagyság ❖ és a fajlagos felület ❖ mellett a finomsági modulus a legfontosabb. A betonadalékanyag finomsági modulusa szoros kapcsolatban áll a beton cementtartalmával ❖ és víz-cement tényezőjével ❖, növelésével az utóbbiak értéke csökkenthető (*1. ábra*).



1. ábra. A finomsági modulus, a cementtartalom és a víz/cement tényező kapcsolata CEM 42,5 jelű cement, földnedves konzisztencia és D_{max}=24 mm legnagyobb szemnagyság esetén

A betonadalékanyag termékek szemmegoszlása jellemzésének szokásos gyakorlata, hogy a szemmegoszlási görbe koordinátarendszerében a (1-P_i) ordinátametszékeket — azaz a duplázódó lyukbőségű, ún. *Tyler*-féle szitasorozattal végzett szitálás göngyölített relatív tömegmaradékait — a görbe feletti olyan részterületek magasságának tekinti, amelyek alaphossza *lg*2. Ily módon könnyen kiszámítható a szemmegoszlási görbe feletti F_{lgd} terület, vagy első alkalmazójáról elnevezve, a *Hummel-féle terület* (*2. ábra*) termékminősítő értéke:

$$F = \sum_{i=1}^{n} (1 - P_i) \cdot lg\, 2 = m \cdot lg\, 2$$



2. ábra. Az F_{lgd} Hummel-féle terület

Ebből az összefüggésből egyszerű egyenletrendezéssel kapjuk az *Abrams-féle logaritmikus finomsági modulus* termékminősítő értékét, amit egyszerűen csak finomsági modulusnak szoktak nevezni:

$$m = \frac{F}{lg\,2} = \sum_{i=1}^{n}(1 - P_i)$$

A Hummel-féle terület és a finomsági modulus értéke nevezetlen szám.

A finomsági modulus értéke tehát a szemmegoszlási görbéből az összes fennmaradt anyag mennyiségének a duplázódó lyukbőségű sziták helyén leolvasott összege, illetve ennek az összegnek a 100-ad része, ha a szemmegoszlási görbe koordinátarendszerének ordinátája %-os beosztású.

A *2. ábrából* kitűnik, hogy – az abszcisszatengely logaritmikus beosztása folytán – a *Hummel*-féle területet és az *Abrams*-féle finomsági modulus értékét jelentősen befolyásolja az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó d_m szemnagyság, amelynek az értékét ma hazánkban a betontechnológiában, ha a legkisebb szemnagyság $d_1 \geq d_m$, gyakorlatilag és általában — egyéb feltételek hiányában — mindig d_m=0,063 mm-nek vesszük fel. Nem volt ez mindig, és ma sincs mindenhol így. *Abrams* eredetileg – angolszász mértékegységből átszámítva – a 0,147 mm-es szemnagyságtól számította a finomsági modulust.

A *Tyler-féle* szitasorozatot és logaritmikus abszcisszatengely beosztást az *Abrams* utáni idők betonkutatói is lényegében megtartották, de a legfinomabb szita lyukbőségeként, azaz az abszcisszatengely kezdőértékéhez tartozó szemnagyságként főképp Európában, az idők folyamán a metrikus hosszmértéknek és egyéb szempontoknak jobban megfelelő, más-más számértékeket választottak. Ezekről az *1. táblázatban* ad áttekintést.

1. táblázat. Abszcisszatengely kezdőértékhez tartozó szemnagyság az Abrams-féle finomsági modulus és a Hummel-féle terület számításához

Forrás megnevezése	Abszcisszatengely kezdőértékhez tartozó szemnagyság d_m [mm]
Abrams, 1918	0,147
Hummel, 1930	0,1
Spindel, 1931	0,001
Stern, 1932	0,001
Palotás, 1952	0,1
MSZ 4713:1955	0,1
Palotás, 1961	0,15
MSZ 4713-3:1977	0,063
MSZ 18288-1:1983	0,063 vagy 0,125
MSZ EN 12620:2003	0,125
MSZ EN 13139:2003	0,125
MSZ 4798-1:2004	0,063

Tehát *Abrams* és követői – korosztályunkat is beleértve – a betonadalékanyagok szemmegoszlását a görbe feletti F_{lgd} területtel, illetve a vele összefüggő m finomsági modulussal jellemezték. A módszer a gyakorlat számára kétségtelenül szemléletes és jól kezelhető, de hátránya, hogy a számítás eredménye nem független a d_m kezdő szemnagyságtól. Pedig létezik ilyen szemmegoszlási jellemző ❖ is, mégpedig az abszcisszatengely kezdőértékétől független $d_{átlag}$ logaritmikus átlagos szemnagyság alakjában. A logaritmikus átlagos szemnagyság ($d_{átlag}$) logaritmusa felírható, mint az F_{lgd} terület és az abszcissza kezdőértékhez tartozó szemnagyság (d_m) logaritmusának összege:

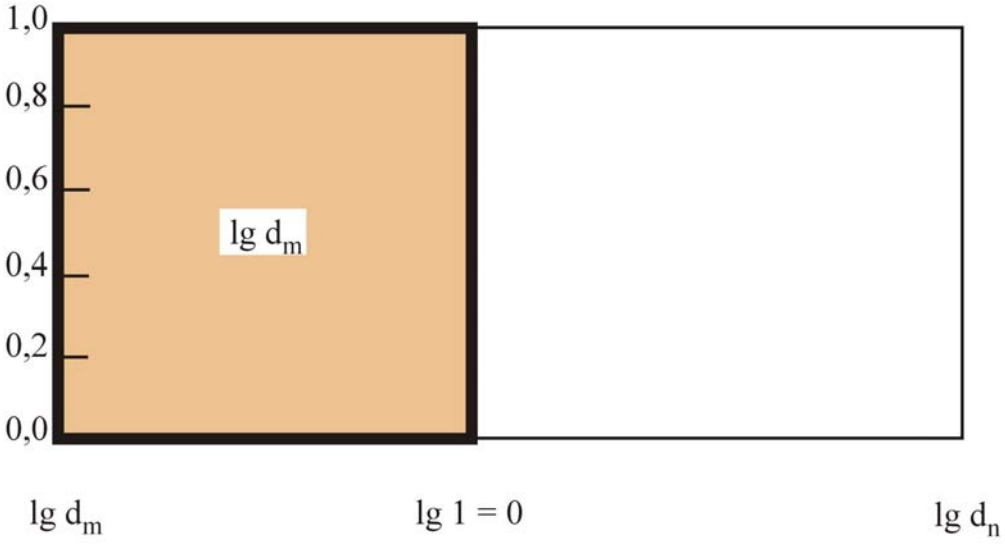
$$lg\ d_{átlag} = F_{lg\,d} + lg\ d_m$$

és ebből kiszámítható a logaritmikus átlagos szemnagyság értéke:

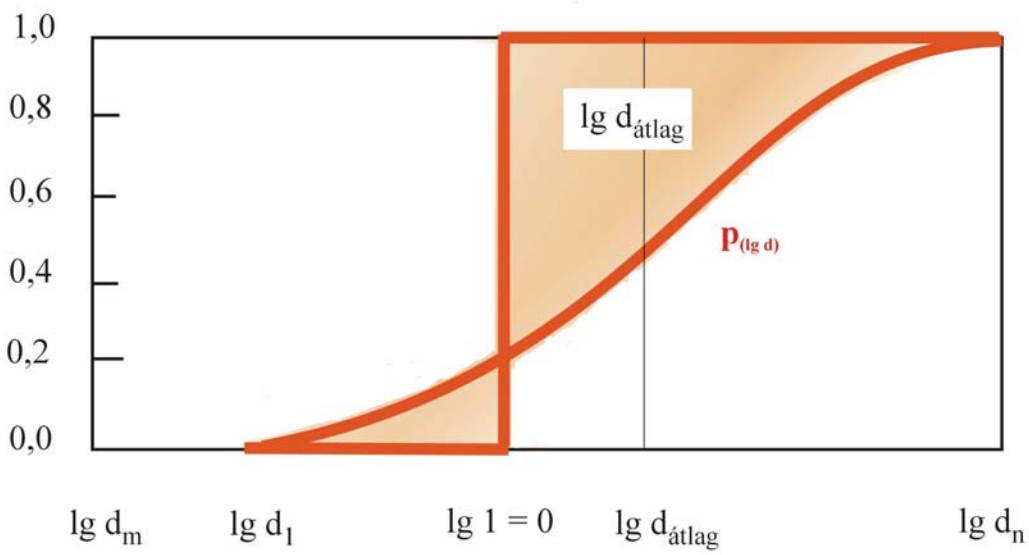
$$d_{átlag} = 10^{lg\ d_{átlag}}$$

Tekintettel arra, hogy lgd_m negatív szám, grafikusan a $lgd_{átlag}$ terület (*4. ábra*) az F_{lg} terület (*2. ábra*) és a lgd_m terület (*3. ábra*) különbségeként jelenik meg. A *4. ábra* jól szemlélteti, hogy a logaritmikus átlagos szemnagyság ($d_{átlag}$) független az abszcisszatengely kezdőértékétől (lgd_m) illetve az ahhoz tartozó szemnagyságtól (d_m).

A logaritmikus átlagos szemnagyság ($d_{átlag}$) mértékegysége mm.



3. ábra. A lgd_m terület



4. ábra. A $lgd_{átlag}$ terület

Felhasznált irodalom:

Badian, A.: Über die Beziehungen zwischen dem Abramsschen Feinheitsmodul, der Hummelschen F-Fläche und der Spindelschen Siebnummern. Beton und Eisen. Jg. 32. 1933. H. 19. p. 305-307.

Hummel, A.: Die Auswertung von Siebanalysen und der Abrams'sche Feinheitsmodul. Zement, 1930. H. 15. pp. 355-364.

Kausay Tibor: Homokos kavicsok és zúzott adalékanyagok szemeloszlásjellemzőinek analitikus megállapítása. Mélyépítéstudományi Szemle. XXV. évf. 1975. 4. szám. p. 155-164.

Kausay Tibor: Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon. Vasbetonépítés. 2004. 1. szám. p. 3-11.

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2004. július-augusztus havi számának 14-15. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Szemmegoszlás tervezés, javítás	

Németül:	Bestimmung, Verbesserung der Korngrößenverteilung
Angolul:	Mix desing, correcting of grading
Franciául:	Planification, correction de granularité

Azt a műveletet, amellyel két vagy több adalékanyag ❖ szemhalmazból (frakcióból) például szemmegoszlási határgörbék közötti szemmegoszlású szemhalmaz keveréket állítanak elő, szemmegoszlás ❖ tervezésnek vagy javításnak nevezik.

A szemmegoszlás tervezés során arra keresik a választ, hogy az ismert finomsági modulusú ❖ frakciókat milyen tömegarányban (esetleg térfogatarányban) kell összekeverni úgy, hogy a keverék finomsági modulusa a tervezett értéket adja. A szemmegoszlás javítás során az a kérdés, hogy a kedvezőtlen vagy nem megfelelő szemmegoszlási görbéjű vagy finomsági modulusú adalékanyag szemhalmazhoz milyen szemmegoszlású javító frakciót és milyen arányban kell keverni ahhoz, hogy a javítás a kívánt eredményt adja.

Ha például három szemhalmazt (frakciót) kell összekeverni, és m_1, m_2, m_3 a három összekeverendő frakció, m_t a tervezett szemhalmaz ismert finomsági modulusa és α, β, γ az összekeverendő frakciók keresett keverési részaránya, akkor — abból a meggondolásból, hogy a frakciók finomsági modulusa a tervezett keverékben részarányuk arányában érvényesül — a következő egyenlőségeket lehet felírni:

$$\alpha \cdot m_1 + \beta \cdot m_2 + \gamma \cdot m_3 = m_t$$

$$\text{és } \alpha + \beta + \gamma = 1$$

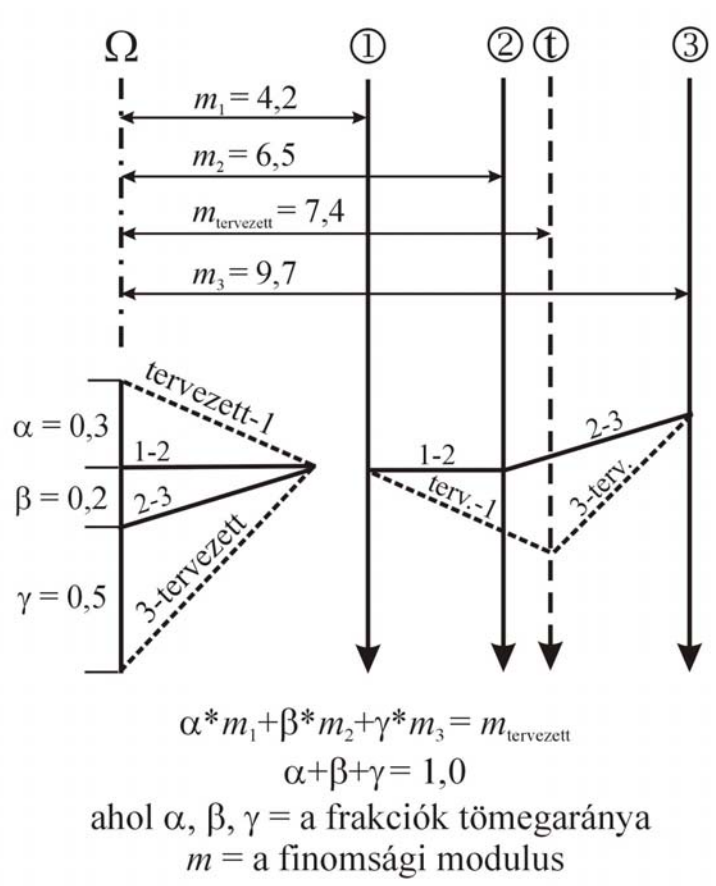
Ebben az egyenletrendszerben három ismeretlen (α, β, γ), de csak két egyenlet van. Ilyen esetben

- vagy be kell vezetni még egy szemmegoszlási jellemzőt, például a fajlagos felületet ❖ (f_1, f_2, f_3,, f_t), és akkor még egy egyenletet fel lehet írni ($\alpha \cdot f_1 + \beta \cdot f_2 + \gamma \cdot f_3 = f_t$), miáltal az egyenletrendszer megoldhatóvá válik;

- vagy a három összekeverendő frakcióból valamely kettőt külön össze kell keverni egy frakcióvá, illetve a három összekeverendő frakció valamelyikének keverési arányát (például a γ-t) célszerű szempontok szerint előre fel kell venni, miáltal a feladat két ismert jobb oldalú egyenletből álló egyenletrendszer megoldására egyszerűsödik:

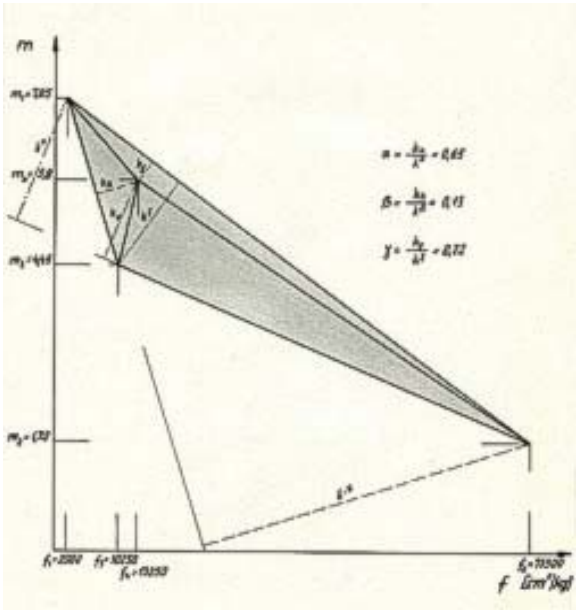
$$\alpha \cdot m_1 + \beta \cdot m_2 = m_t - \gamma \cdot m_3 \quad \text{és} \quad \alpha + \beta = 1 - \gamma$$

Badian 1933-ban két, majd 1938-ban több frakció esetére mutat be szemmegoszlás tervezési módszert kötélsokszög szerkesztés alkalmazásával (*1. ábra*).



1. ábra. Szemmegoszlás tervezés három frakcióból *Badian* szerint

Három frakció esetén a feladat derékszögű koordináta rendszerben ábrázolt általános háromszöggel oldható meg. A háromszög csúcsait a frakciók ábrázolópontjai adják, és a feladatnak akkor van megoldása, ha a tervezett keverék ábrázolópontja a háromszögön belül fekszik. Valamely frakció részarányát megkapjuk, ha a tervezett keverék és a frakció ábrázolópontjából ez utóbbival szemben fekvő háromszög-oldalra bocsátott merőleges távolságok hányadosát képezzük. A feladat statikai megfelelője: ismert nagyságú és hatásvonalú eredőerő felbontása három ismert hatásvonalú, párhuzamos, térbeli erőre szerkesztéssel, amelyre a *2. ábrán* látható példa. Ha az általános háromszöget egyenlő oldalú háromszöggé transzformáljuk, akkor a *Descartes*-féle háromszög-ábra áll elő.



2. ábra. Példa megoldás általános háromszöggel

A továbbiakban az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy $\gamma = 0$, azaz az összekeverendő frakciók száma csak kettő, vagy eredetileg is csak kettő volt, és a megoldandó egyenletrendszer:

$$\alpha \cdot m_1 + \beta \cdot m_2 = m_t \quad \text{és} \quad \alpha + \beta = 1$$

a megoldás pedig:

$$\alpha = \frac{m_2 - m_t}{m_2 - m_1} \quad \text{és} \quad \beta = 1 - \alpha$$

Két frakcióból történő keverék összeállítására az *1. táblázatban* és a *3. ábrán* mutatunk be példát. A példában az $m_1 = 6{,}37$ finomsági modulusú ❖ és $d_{max\ 1} =$ $= 32$ mm legnagyobb szemnagyságú ❖ homokos kavicsot ❖ úgy javítjuk meg az $m_2 = 8{,}60$ finomsági modulusú és $d_{max\ 2} = 40$ mm legnagyobb szemnagyságú kaviccsal ❖, hogy az új homokos kavics keverék finomsági modulusa $m_t = 7{,}20$ lesz, miközben legnagyobb szemnagyságára $d_{max\ t} = 40$ mm adódik. A megoldás szerint — a finomsági modulusra tett feltétel teljesüléséhez — az eredeti homokos kavicsot és a javító kavicsot 0,628:0,372 tömegarányban kell összekeverni.

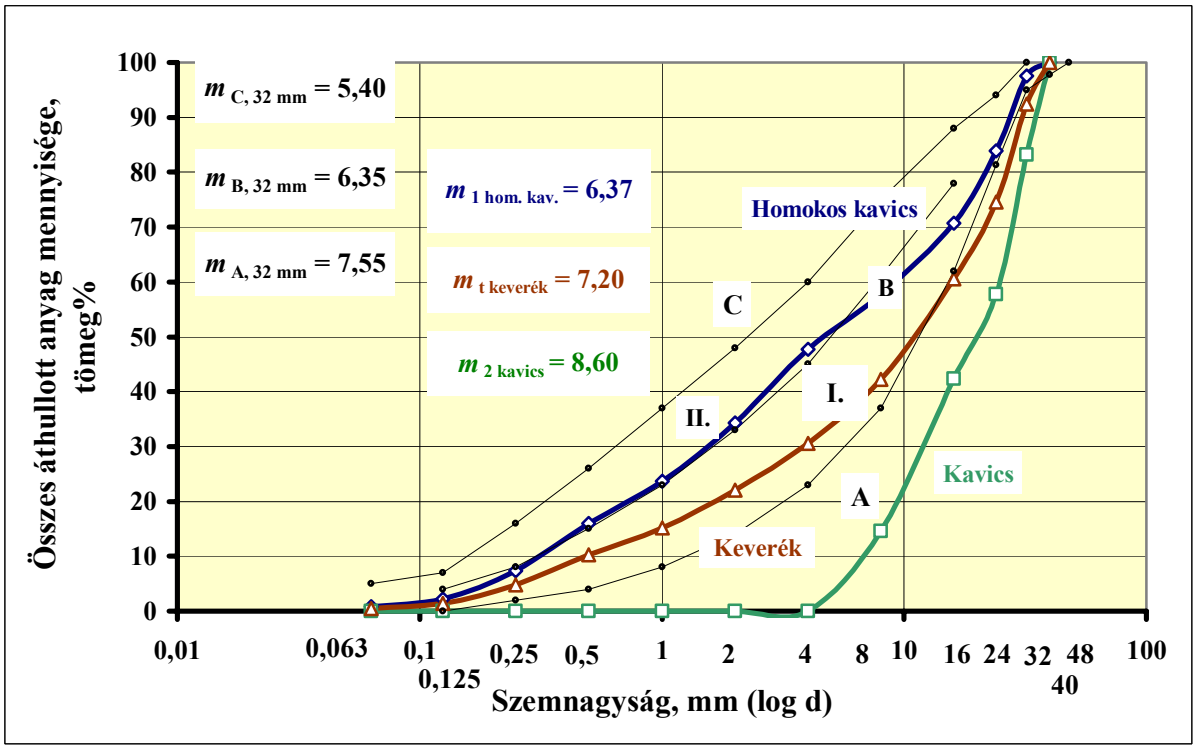
Szem-nagyság	Homokos kavics				Kavics				Keverék
	Fennmaradt anyag		Σ fennmar.	Σ áthull.	Fennmaradt anyag		Σ fennmar.	Σ áthull.	Σ áthull.
mm	g	m%	m%	m%	g	m%	m%	m%	m%
32	200	2,01	2,01	97,99	1654	16,75	16,75	83,25	92,51
24	360	3,62	5,64	94,36	2517	25,48	42,23	57,77	80,75
16	400	4,03	9,66	90,34	1518	15,37	57,60	42,40	72,51
8	2545	25,61	35,27	64,73	2751	27,85	85,45	14,55	46,06
4	2120	21,33	56,61	43,39	1437	14,55	100	0	27,25
2	1250	12,58	69,19	30,81	0	0	100	0	19,35
1	678	6,82	76,01	23,99	0	0	100	0	15,07
0,5	1592	16,02	92,03	7,97	0	0	100	0	5,01
0,25	520	5,23	97,26	2,74	0	0	100	0	1,72
0,125	227	2,28	99,55	0,45	0	0	100	0	0,28
0,063	25	0,25	99,80	0,20	0	0	100	0	0,13
0	20	0,20	100,00	0,00	0	0	100	0	0
Összesen:	9937	$m_1 = 6,37$ finomsági modulus		Összesen:	9877		$m_2 = 8,60$ finomsági modulus		$m_t = 7,20$

Megjegyzés:

A 24 mm és a 0 mm szemnagysághoz tartozó összes fennmaradt anyagot a finomsági modulusba nem szabad beszámítani.

$$\alpha = \frac{m_2 - m_t}{m_2 - m_1} = \frac{8,6 - 7,2}{8,6 - 6,37} = 0,628 \qquad \beta = 1 - \alpha = 0,372$$

1. táblázat. Példa a szemmegoszlás javítására



3. ábra. Az *1. táblázat* szerinti példa szemmegoszlási görbéi

Felhasznált irodalom:

Badian, A.: Graphische Ermittlung der Anteile von Kiesen mit bekannten Siebkurven im Zuschlag mit gewünschten Feinheitsgrad. Beton und Eisen. Jg. 37. 1938. H. 11. p. 191-192.

Popovics Sándor: A betonadalék szemszerkezetjavítására vonatkozó számítások háromszög-koordinátarendszerben. ÉTI Tudományos Közlemények. ÉM Dokumentációs és Nyomtatványellátó Vállalat. Budapest, 1956.

Kausay Tibor: Betontervezés és szemszerkezet (értsd: szemmegoszlás) javítás nomogrammal. Mélyépítéstudományi Szemle. XV. évf. 1965. 1. szám. p. 42-44.

Kausay Tibor: Szemszerkezet (értsd: szemmegoszlás) javításának megtervezése grafikus úton. Mélyépítéstudományi Szemle. XVIII. évf. 1968. 3. szám. p. 127-130.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2004. november havi számának 12-13. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

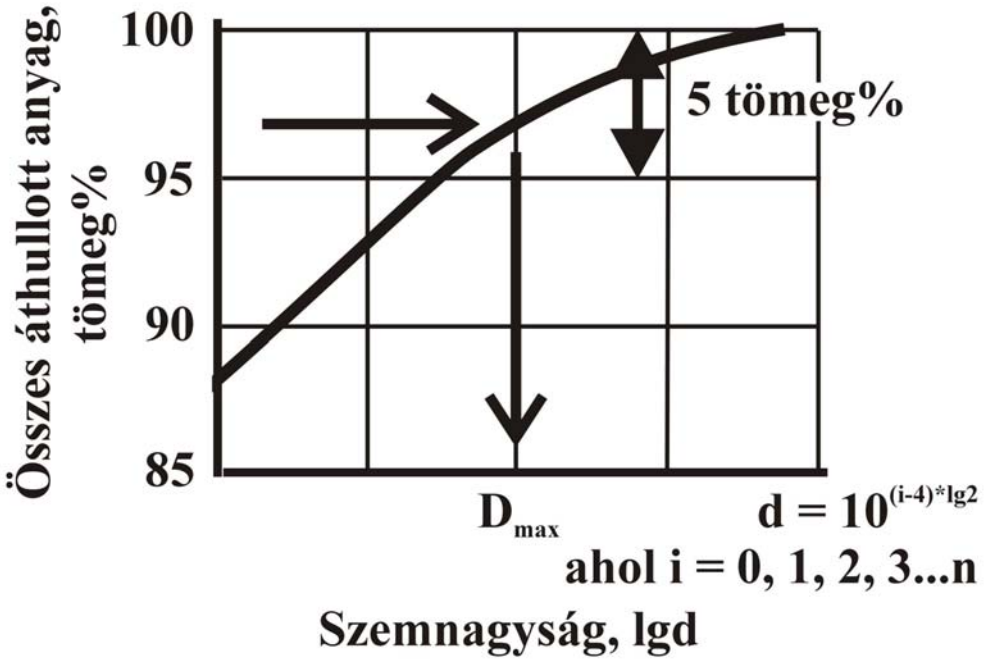
	Legnagyobb szemnagyság	

Németül:	Größtkorn, obere Korngröße, obere Siebgröße, Überkorngröße
Angolul:	Upper sieve size, maximum sieve size
Franciául:	Grande dimension du grain, dimension des tamis supérieurs

Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága a betontechnológiának, illetve a finomsági modulus ❖ mellett az adalékanyag ❖ szemmegoszlásának ❖ egyik legfontosabb jellemzője. Szokás *névleges* legnagyobb szemnagyságnak is nevezni, illetve a *felső szitamérettel* kifejezni. Mértékegysége mm. Jele: d_{max}, D_{max}, D.

Értelmezésére többféle lehetőség kínálkozik:

- *Általánosságban* a legnagyobb szemnagyság alatt annak a szabványos (MSZ EN 933-2:1998), *legkisebb* „duplázódó" vagy „felező" vizsgálószitának a nyílását (8, 12, 16, 20, 24, 32, 48, 63 mm) értjük, amelyen a fennmaradt összes anyag mennyisége legfeljebb 5 tömeg%, illetve ha az adalékanyag szemek testsűrűsége nem azonos, akkor legfeljebb 5 térfogat% (*1. ábra)*.

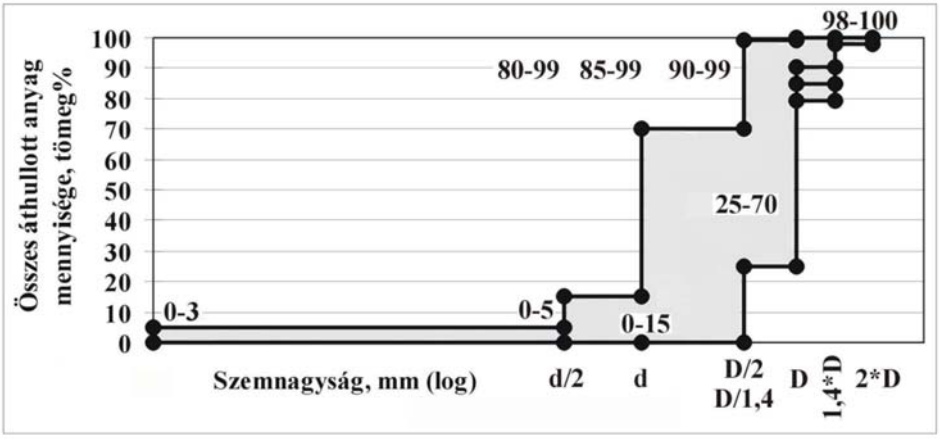


1. ábra. Az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának (D_{max}) meghatározása

- *Adalékanyag keverék* (például 0/16 mm szemnagyságú folyamatos vagy lépcsős szemmegoszlású homokos kavics) esetén legnagyobb szemnagyságnak azoknak a szabványos (MSZ 4798-1:2004) szemmegoszlási határgörbéknek illetve határpontoknak a legnagyobb szemnagyságát tekintjük, amely határgörbéknek illetve határpontoknak az adalékanyag keverék szemmegoszlása megfelel. A legnagyobb szemnagyságnak megfelelő szitán (*D*) a határgörbék szerint az adalékanyag keverék 95-100 tömeg%-a át kell essen. A legnagyobb szemnagyságnak megfelelő határpontok követelménye ennél lazább: 85-99 illetve 90-99 tömeg%. A keverékek maradéktalanul át kell essenek a határgörbék alapján

a legnagyobb szemnagyság mintegy másfélszeresének (1,3·*D* – 1,6·*D*), a határpontok alapján a legnagyobb szemnagyság kétszeresének (2·*D*) megfelelő nyílású szitán (MSZ 4798-1:2004 szabvány M melléklet).

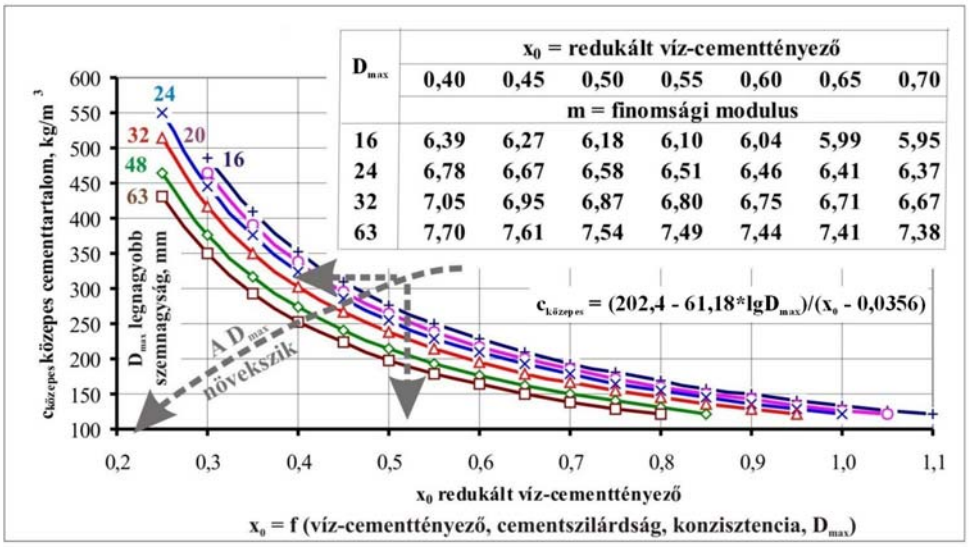
- *Osztályozott adalékanyag frakció* esetén a legnagyobb szemnagyság a frakció szabványos (MSZ 4798-1:2004) felső szitamérete (*D*). A legnagyobb szemnagyságnak megfelelő szitán (*D*) áthullott összes anyag mennyisége szűk kavics frakció (például 4/8, 8/16 mm) esetén 80-99 tömeg%, homok frakció (például 0/2, 2/4 mm), szűk homokos kavics frakció (például 2/8 mm), nyújtott kavics frakció (például 4/16 mm) esetén 85-99 tömeg%, nyújtott homokos kavics frakció (például 2/16 mm) esetén 90-99 tömeg% kell legyen (*2. ábra*). A frakciók a legnagyobb szemnagyság kétszeresének (2·*D*) megfelelő nyílású szitán maradéktalanul át kell essenek (MSZ 4798-1:2004).



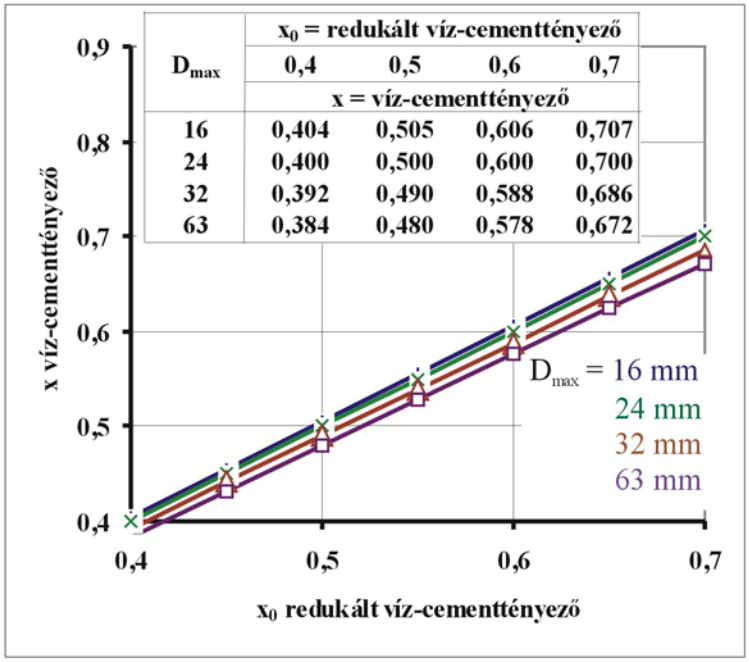
2. ábra. Példa az osztályozott adalékanyag frakció legnagyobb szemnagyságának (D) és szemmegoszlásának követelményére

A helyesen megválasztott legnagyobb szemnagyság előnyös betonösszetételt eredményez. *Az 3. ábrán* látható, hogy ha az adalékanyag legnagyobb szemnagyságát a többi összetevő optimális változtatása mellett növeljük, akkor

- *egyrészt* adott *Palotás-féle* x_0 redukált víz-cementtényező ❖ esetén a szükséges $c_{közepes}$ cementtartalom ❖ csökken, miközben adott szilárdsági osztályú cement ❖ és konzisztencia ❖ mellett az *x* víz-cementtényező ❖ kissé csökken (*4. ábra*) és ezért a beton nyomószilárdsága ❖ valamelyest növekszik;
- *másrészt* adott $c_{közepes}$ cementtartalom esetén az x_0 redukált víz-cementtényező csökken, miközben adott szilárdsági osztályú cement és konzisztencia mellett az *x* víz-cementtényező jelentősen csökken (*4. ábra*) és ezért a beton nyomószilárdsága számottevően növekszik.



3. ábra. Összefüggés a redukált víz-cementtényező, a cementtartalom és a legnagyobb szemnagyság között



4. ábra. Összefüggés a redukált víz-cementtényező, a víz-cementtényező és a legnagyobb szemnagyság között, földnedves konzisztencia és 42,5 szilárdsági osztályú cement esetén

Általánosan elfogadott nézet, hogy az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának növelése változatlan vízadagolás mellett javítja a beton bedolgozhatóságát, változatlan bedolgozhatóság mellett csökkenti a vízigényt és növeli a beton nyomószilárdságát, változatlan bedolgozhatóság és nyomószilárdság mellett csökkenti a szükséges cementadagolást.

Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága azonban egyszerű geometriai okok folytán nem növelhető korlátlanul. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a betonadalékanyag névleges legnagyobb szemnagysága nem lehet nagyobb, mint a következő három adat közül a legkisebb:

- a szerkezetrész legkisebb méretének egyharmada;

- a névleges betonfedés ❖ kétharmada;

- az acélbetétek ❖ egymástól való legkisebb távolságának (a legkisebb szabad nyílásnak) kétharmada.

Korszerű, különleges betontechnológiák sok esetben olyan adalékanyagot igényelnek, amelynek legnagyobb szemnagysága a hagyományoshoz képest kisebb. Például a lövellt beton ❖ adalékanyagának legnagyobb szemnagysága általában 8-16 mm közé esik, a nagyszilárdságú betoné ❖ olykor ennél is kisebb. *H.-M. Ludwig* és *R. Thiel* olyan különleges összetételű nagy-teljesítőképességű finombeton (HLF = Hochleistungsfeinkornbeton) tulajdonságairól és alkalmazási lehetőségeiről számoltak be, amelynek nyomószilárdsága nagyobb mint 150 N/mm^2, és amelyet 0,5 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyaggal (kvarchomokkal) stb. készítettek.

Felhasznált irodalom:

Ludwig, Horst-Michael – Thiel, Roland: Hochleistungsfeinkornbetone. Eigenschaften und Anwendungsperspektiven. Betonwerk+Fertigteil-Technik. 2004. 2. szám. p.26-27.

Palotás László – Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton – Habarcs – Kerámia – Műanyag. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

MSZ EN 933-2:1998 Kőanyaghalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Vizsgálósziták, a szitanyílások névleges mérete

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

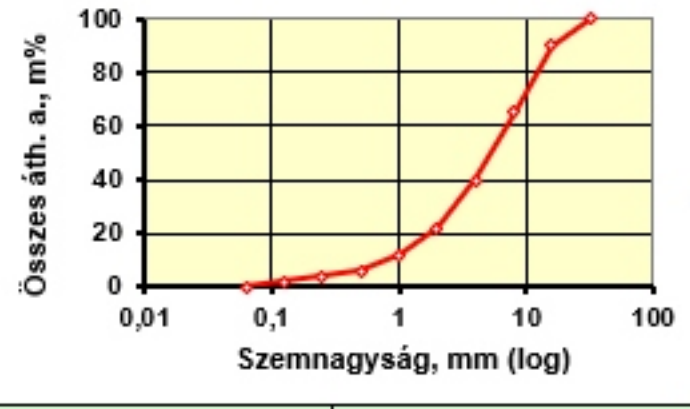
Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2004. december havi számának 8-9. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

m_{lin}	σ^2	σ	σ^2/m_{lin}^2
7,648	57,598	7,589	0,985

$lg\ d_{átlag}$		$F_{dm=0,063}$
0,629		1,830
$d_{átlag}$		m_{lg}
4,258		6,079



f_v		f $(\rho = 2640\ kg/m^3)$	
4,357	$[mm^{-1}]$	1,651	$[m^2/kg]$

d_{10}
32
100
p_{10}

m_{lin}
7,648

d_{10}^2	σ^2	σ^2/m_{lin}^2
1024	57,598	0,985

σ
7,589

lgd_{10}	$lg\ d_{átlag}$	$d_{átlag}$
1,50515	0,629	4,258

$F_{dm=0,063}$	m_{lg}
1,830	6,079

$m_{gyakort.}$
6,590

d_{10}^{-1}	f_v	f
0,03125	4,357 $[mm^{-1}]$	1,651 $[m^2/kg]$

ha ρ_T
2640
kg/m^3

j

k

d_{10}
32
100
p_{10}

	Szemmegoszlási jellemzők	

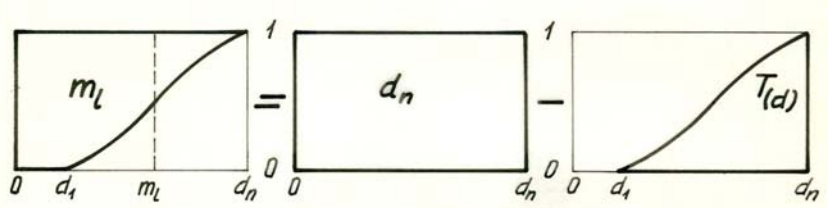
Németül:	Charakteristiken der Korngrößenverteilung
Angolul:	Characteristics of particle size distribution
Franciául:	Caractéristique de composition granulométrique

Kutatási, fejlesztési és igényesebb tervezési feladatok megoldása során a betonok ❖ és habarcsok ❖ adalékanyagául ❖, esetleg töltőanyagául szolgáló homokok, homokos kavicsok ❖, zúzottkövek ❖, kőlisztek stb. szemmegoszlását ❖ számszerűen a várhatóértékkel, a szórásnégyzettel, a variációs tényezővel, az átlagos szemnagysággal, a logaritmikus finomsági modulussal ❖, és a térfogati fajlagos felülettel ❖ jellemezhetjük. Ezek kiszámítása mindig a szitavizsgálat ❖, vagy szedimentálás ❖ eredménye alapján történhet.

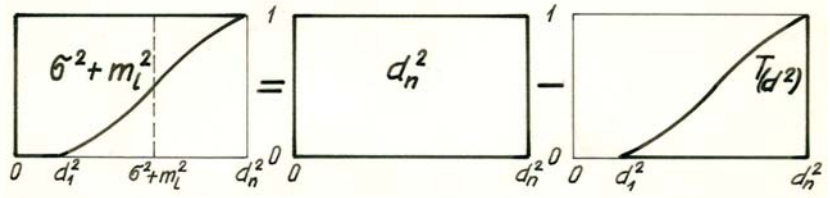
A szemmegoszlási jellemzők szemléltetéséhez és számításához azt a közös tulajdonságukat használjuk fel, hogy mindegyikük értéke kifejezhető a jellegüknek megfelelően transzformált abszcisszatengelyen ábrázolt szemmegoszlási görbe alatti vagy feletti területtel. Ehhez az abszcisszatengelyek beosztását úgy kell megválasztani, hogy a koordinátarendszerbeli területek a szemmegoszlási jellemzőkkel arányosak legyenek, amit a szemmegoszlási görbe eredetileg lineáris abszcisszatengelyének esetenkénti transzformációjával lehet elérni. A lineáris skálabeosztású abszcisszatengely a szemnagyságnak, a transzformált tengely a szemnagyság származékának kifejezője.

A szemnagysággal a várhatóérték egyenes, a szórásnégyzet négyzetes, az átlagos szemnagyság és a logaritmikus finomsági modulus logaritmikus, a térfogati fajlagos felület fordított arányú összefüggésben áll. Ezért a várhatóértéket lineáris, a szórásnégyzetet négyzetes, az átlagos szemnagyságot és a logaritmikus finomsági modulust logaritmikus, a térfogati fajlagos felületet reciprok beosztású abszcisszatengelyre rajzolt szemmegoszlási görbével jelenítjük meg.

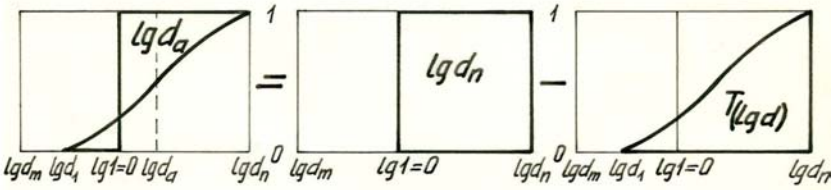
A független változó az abszcisszatengely lineáris beosztása esetén d, négyzetes beosztása esetén d^2, logaritmikus beosztása esetén lg$d$, reciprok beosztása esetén d^{-1}. A d mértékegysége mm. Utaljanak az alsó indexek a halmaz-határokra, az 1 az elsőre, az n az utolsóra, azaz a két utóbbi a szemhalmaz legkisebb és legnagyobb szemnagyságára.



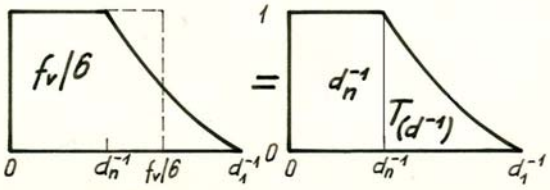
1. ábra. A lineáris finomsági modulus kifejezése



2. ábra. A szórásnégyzet kifejezése



3. ábra. A logaritmikus várhatóérték kifejezése



4. ábra. A térfogati fajlagos felület kifejezése

Keressük a kapcsolatot a megfelelő görbe alatti területek és a különböző szemmegoszlási jellemzők között. A *p'* sűrűségfüggvény és származékai alatt mindig tömegarányt kifejező *valószínűségi sűrűségfüggvényt,* a hozzá tartozó *p* eloszlásfüggvény és származékai alatt mindig *relatív tömeg-eloszlásfüggvényt* kell érteni. A *p'* sűrűségfüggvény és a *p* eloszlásfüggvény kapcsolata:

$$p = \int_{d_1}^{d} p' \, \mathrm{d}d$$

A *p'* sűrűségfüggvény alatti terület értéke $v_0 = 1$.

A *d* szemnagyság ***várhatóértéke***, vagy más néven a **lineáris finomsági modulus** (m_l) azonos a *p'* sűrűségfüggvény alatti területnek az ordináta-tengelyre vett elsőrendű nyomatékával (v_1), amely egyenlő a *p* eloszlásfüggvény feletti területtel (Ψ_0), azaz a *lineáris beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe *d=0* és d_n határú intervalluma feletti m_l területtel (*1. ábra*):

$$m_1 = v_1 = \Psi_0 = \int_{d_1}^{d_n} d \cdot p' \,\mathrm{d}d = \int_{0}^{d_n} \mathrm{d}d - \int_{d_1}^{d_n} p \,\mathrm{d}d = d_n - T_{(d)} \qquad [\mathrm{mm}]$$

(1)

A ***szórásnégyzet*** a *p'* sűrűségfüggvény alatti területnek a várhatóérték függőlegesére vett μ_2 másodrendű centrális nyomatéka. Bizonyítható, hogy a szórásnégyzet, azaz a μ_2 másodrendű centrális nyomaték egyenlő a ν_2 másodrendű nyomaték és a ν_1 elsőrendű nyomaték négyzetének különbségével, ami nem más, mint a lineáris beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe feletti terület — az ordinátatengelyre vett — kétszeres Ψ_1 elsőrendű nyomatékának és a várhatóérték négyzetének különbsége:

$$\sigma^2 = \mu_2 = \nu_2 - \nu_1{}^2 = 2 \cdot \Psi_1 - m_1{}^2$$

Ha a *p* eloszlásfüggvényt nem lineáris, hanem *négyzetes beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázoljuk, akkor a kétszeres Ψ_1 elsőrendű nyomaték helyébe egyszeres nulladrendű nyomaték lép, azaz a *szórásnégyzet* egyenlő a *négyzetes beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe $d=0$ és d_n^2 határú intervalluma feletti (d_n^2-T_d2) terület és a várhatóérték négyzete (m_1^2) különbségével (*2. ábra*):

$$\sigma^2 = d_n{}^2 - m_1{}^2 - T_{(d^2)} \qquad \text{azaz} \qquad \sigma^2 + m_1{}^2 = d_n{}^2 - T_{(d^2)} \qquad [\mathrm{mm}^2]$$

(2)

A σ^2 szórásnégyzet felhasználásával kiszámítható a σ *szórás*, a $\sigma^2/m_{lin}{}^2$ *relatív szórásnégyzet*, a σ/m_{lin} *relatív szórás* azaz *variációs tényező*.

Ha a szemmegoszlási görbét tízes alapú *logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázoljuk, akkor az előzőekben tárgyalt várhatóérték helyébe a ***logaritmikus várhatóérték*** lép. Minthogy a logaritmikus várhatóérték nem más, mint az átlagos szemnagyság tízes alapú logaritmusa ($\lg d_a$, amelyet $\lg d_{átlag}$-nak is jelölnek), következik, hogy felhasználásával az ***átlagos szemnagyság*** kiszámítható. Az átlagos szemnagyságot tehát tízes alapú logaritmikus beosztású abszcisszatengelyű koordinátarendszerben értelmezzük, és számértéke eltér a lineáris finomsági modulus számértékétől.

A várhatóértéket meghatározása szerint az eloszlásfüggvény feletti terület fejezi ki. A zérus kezdőértékű lineáris abszcisszatengely felett e terület határai $d=0$ és d_n, azaz az ordinátatengely és a legnagyobb szemnagyság.

Logaritmikus beosztású abszcisszatengely esetén a legnagyobb szemnagyság a $\lg d_n$ helyen található, de az ordinátatengely helyének értelmezése ennél bonyolultabb, mert az abszcisszatengely kezdőértéke — mivel lg0=-∞ — az eddigiektől eltérően zérustól különböző szám kell, hogy legyen. Az ordinátatengely szerepét a lg1=0 értékű abszcisszarendező veszi át, amely két térfélre osztja a koordinátarendszert. Minthogy az egynél kisebb számok logaritmusa zérusnál kisebb értékű, azaz negatív előjelű, a lg1=0 értékű abszcisszarendezőtől balra eső térfél előjele negatív lesz. A d_1<1 mm legkisebb szemnagyságú szemmegoszlási görbe a legnagyobb szemnagyság értékétől függően e negatív térfélben helyezkedik el (ha d_n<1 mm), vagy a pozitív térfélből oda átnyúlik (ha d_n>1 mm). Ez utóbbi lehetőséget tekinthetjük a gyakorlatban leginkább előforduló általános esetnek.

Így a logaritmikus várhatóértékkel kapcsolatban nem beszélhetünk görbe feletti, hanem csak görbével határolt területről. Eszerint a *logaritmikus várhatóérték* (lgd_a) azonos a logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt eloszlásfüggvénnyel határolt területtel, amely a lg1=0 értékű abszcisszarendezőtől balra lévő negatív térfélben görbe alatti, az attól jobbra lévő pozitív térfélben görbe feletti részterület (*3. ábra*), amit a következőképpen lehet kifejezni:

$$lg\, d_a = lg\, d_n - T_{(lg\, d)} \qquad (3)$$

A (3) jelű egyenletbe a d értékét mm-ben helyettesítjük be, a lgd_a értékét pedig nevezetlen számnak tekintjük.

Az *átlagos szemnagyság* (d_a, amelyet $d_{átlag}$-nak is jelölnek) a logaritmikus várhatóérték (lgd_a) numerusa, amelyet a (3) jelű egyenlet értékének meghatározása után számíthatunk ki:

$$d_a = 10^{lg\, d_a} \qquad [\text{mm}]$$

A *3. ábrán* látható, hogy a lgd_a logaritmikus várhatóérték, és így a d_a logaritmikus átlagos szemnagyság is, független az abszcisszatengely lgd_m kezdőértékétől.

A logaritmikus finomsági modulus a logaritmikus várhatóértékből származtatható. Levezetéséhez ki kell számítani az $F_{\lg d}$ ***Hummel-féle területet*** ❖, amely a klasszikus megfogalmazás szerint azonos a tízes alapú *logaritmikus beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe feletti területtel, amely az abszcisszatengely lgd_m kezdőértékéig terjed. A művelet úgy hajtható végre, hogy a lgd_a és a lgd_m által képviselt területek különbségét kell képezni, ami a lgd_m negatív előjele miatt számszakilag összeadást jelent:

$$F_{lg\, d} = lg\, d_a - lg\, d_m = m_{lg} \cdot lg\, 2 \qquad \text{azaz} \qquad m_{lg} = \frac{F_{lg\, d}}{lg\, 2}$$

A d_a és d_m értékek mértékegysége mm, az $F_{\lg d}$ értéke nevezetlen szám, az $m_{\lg}$ a ***logaritmikus finomsági modulus***, ugyancsak nevezetlen szám.

A *Hummel-féle terület* (F_{lgd}) nagysága és következésképpen annak származékai, mint a különböző abszcisszatengely kezdőértékekhez tartozó *logaritmikus finomsági modulusok*, jelentős mértékben függnek a *Hummel-féle* területet határoló lgd_m abszcisszatengely kezdőérték, illetve az ahhoz tartozó $d_m \neq 0$ szemnagyság megállapodás tárgyát képező értékétől. Napjainkban az abszcisszatengely kezdőértékét általában d_m=0,063 mm-nek veszünk fel.

A XX. század első felének betonkutatói, így az amerikai *Abrams* (1918), a német *Hummel* (1930), majd követőik, mint a német *Spindel* (1931), az osztrák *Stern* (1932), és később itthon *Palotás* (1952, 1961), *Popovics* (1952, 1953), *Balázs* (1994), a beton adalékanyagok szemmegoszlását nem az abszcisszatengely kezdőértéktől független d_a logaritmikus átlagos szemnagysággal jellemezték, hanem a — gyakorlat számára kétségkívül szemléletes és jól kezelhető — görbe feletti $F_{\lg d}$ *Hummel*-féle területtel hozták összefüggésbe. Az adalékanyag szemmegoszlásának ma is a *Hummel*-féle területből levezethető logaritmikus finomsági modulus a legfőbb jellemzője.

A ***térfogati fajlagos felület*** az egységnyi testtérfogatú szemhalmaz szemeinek felületösszege, azaz a szemhalmaz szemei külső felülete összegének és a szemek

— többnyire pórusokat is tartalmazó, tehát a külső felület által határolt — térfogata összegének hányadosa.

A gömb vagy kocka alakú, tehát idealizált szemalakú szemek halmazának f_V térfogati fajlagos felületét kifejezhetjük, mint a p' sűrűségfüggvény alatti területnek az ordinátatengelyre vett (-1)-rendű v_{-1} nyomatéka hatszorosát:

$$f_V = 6 \cdot v_{-1} = 6 \cdot \int_{d_1}^{d_n} d^{-1} \cdot p' \, \mathrm{d}d \qquad [\mathrm{mm}^{-1}]$$

Bevezetve az $u=d^{-1}$ [mm^{-1}] jelölést és a fenti egyenletbe behelyettesítve megfelelőit, bizonyítható, hogy

$$f_V = 6 \cdot v_{-1} = 6 \cdot \left(\int_0^{u_n} \mathrm{d}u + \int_{u_n}^{u_1} p_u \, \mathrm{d}u \right) \qquad [\mathrm{mm}^{-1}]$$

Eszerint a térfogati fajlagos felület a *reciprok beosztású abszcisszatengellyel* rendelkező koordinátarendszerben ábrázolt szemmegoszlási görbe alatti terület hatszorosával egyenlő (*4. ábra*), azaz

$$f_V = 6 \cdot ({d_n}^{-1} + T_{(d^{-1})}) \qquad [\mathrm{mm}^{-1}] \qquad (4)$$

A szemhalmaz térfogati fajlagos felületének értéke nagyon érzékeny a finomszemek nagyságára és mennyiségére. Például szélső esetként a $d_1=0$ legkisebb szemnagyságú szemhalmazok térfogati fajlagos felületének számítása kifejezetten nehézségekbe ütközik, mert ha $d_1=0$, akkor $u_1=\infty$ és $f_V=\infty$, azaz a térfogati fajlagos felület értéke végtelen nagyra adódik. Ezért feltételül szoktuk szabni, hogy $d_1 \geq 0{,}001$ mm illetve $u_1 \leq 1000$ mm^{-1} kell legyen. Bár e feltétel önkényes, értéke azért fogadható el, mert a beton adalékanyagban a legfinomabb szemek az agyag szemek, (amelyek szemnagysága 0,002 mm-nél kisebb,) és ezek mennyiségét egyébként is tudatosan korlátozzuk.

Az építőanyagipari gyakorlatban a szemhalmazok egységnyi mennyiségére eső felületet a *térfogati fajlagos felület* helyett szívesen fejezik ki a *tömegi fajlagos felülettel*, amit egyszerűen ***fajlagos felületnek*** ❖ neveznek. Ennek méréstechnikai oka van, míg ugyanis a térfogati fajlagos felület egy számított szemmegoszlási jellemző, addig a fajlagos felület értékét meg lehet mérni. A fajlagos felület mértékegysége m^2/kg, ami 1000 mm^2/g-nak felel meg.

Az f fajlagos felület és az f_v térfogati fajlagos felület kapcsolatát az (5) jelű egyenlet írja le.

$$f = 10^3 \cdot \frac{f_V}{\rho_T} \qquad [\mathrm{m}^2/\mathrm{kg}] \qquad (5)$$

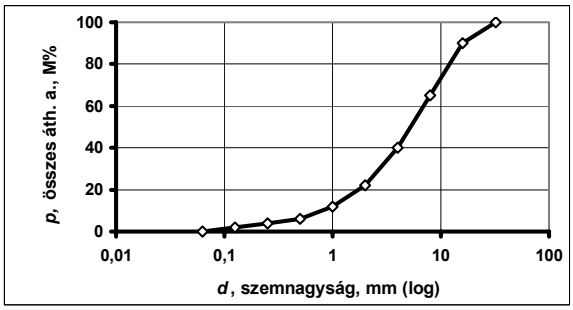
ahol f_V a térfogati fajlagos felület [1/mm], és ρ_T a kiszárított állapotú szemhalmaz szemeinek átlagos testsűrűsége [kg/m^3].

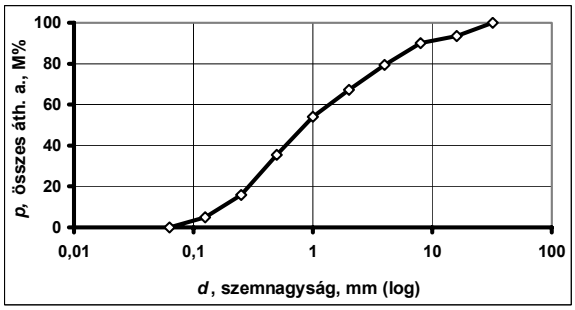
A fajlagos felület az anyag testsűrűségének is függvénye, ezért — a térfogati fajlagos felülettel ellentétben — nem tekinthető kifejezetten szemmegoszlási jellemzőnek, hiszen a fajlagos felület csak az azonos testsűrűségű szemek halmazai felületének közvetlen összevetésére alkalmas.

Az *1. táblázatban* két példát mutatunk be — egymással párhuzamba állítva — a szemmegoszlási jellemzők számításának eredményére. Az *1. táblázatban* szereplő durvább és finomabb szemhalmazok szemmegoszlási jellemzőinek összevetéséből jól látható, hogy a szemmegoszlási görbe változásait a szemmegoszlási jellemzők értékei érzékenyen követik, elhelyezkedését kifejező módon leírják.

1. táblázat: Példák a szemmegoszlási jellemzők számításának eredményére

Durvább szemmegoszlás				Finomabb szemmegoszlás			
d [mm]	p [tömeg%]	d [mm]	p [tömeg%]	d [mm]	p [tömeg%]	d [mm]	p [tömeg%]
d_1=0,063	p_1=0	d_6=2	p_6=22	d_1=0,063	p_1=0	d_6=2	p_6=67,3
d_2=0,125	p_2=2	d_7=4	p_7=40	d_2=0,125	p_2=5	d_7=4	p_7=79,4
d_3=0,25	p_3=4	d_8=8	p_8=65	d_3=0,25	p_3=15,9	d_8=8	p_8=90
d_4=0,5	p_4=6	d_9=16	p_9=90	d_4=0,5	p_4=35,5	d_9=16	p_9=93,5
d_5=1,0	p_5=12	d_{10}=32	p_{10}=100	d_5=1,0	p_5=54,2	d_{10}=32	p_{10}=100





m_1	σ^2	σ	σ^2/m_1^2	m_1	σ^2	σ	σ^2/m_1^2
7,648	57,598	7,589	0,985	3,414	41,472	6,440	3,557
$lg\, d_a$	d_a	$F_{dm=0,063}$	m_{lg}	$lg\, d_a$	d_a	$F_{dm=0,063}$	m_{lg}
0,629	4,258	1,830	6,079	0,028	1,066	1,228	4,081
f_v		f (ρ = 2640 kg/m^3)		f_v		f (ρ = 2640 kg/m^3)	
4,357	[mm^{-1}]	1,651	[m^2/kg]	13,735	[mm^{-1}]	5,203	[m^2/kg]

Ha ide tetszik kattintani, akkor egy Excel oldal töltődik le. Ebben található egy ábra egy szemmegoszlási görbével, és körülötte a görbéhez tartozó szemmegoszlási jellemzőkkel. Ha ki tetszik jelölni a görbe pontjait, és a bal egérgombbal el tetszik húzni az ábrán a kijelölt pontok közül egyet-kettőt, akkor egyrészt megváltozik a görbe alakja, másrészt megváltoznak a szemmegoszlási görbéhez tartozó, az ábra körül látható szemmegoszlási jellemzők értékei.

Felhasznált irodalom:

Kausay Tibor: Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon. Vasbetonépítés. 2004. VI. évfolyam. 1. szám. pp. 3-11.

Jelmagyarázat: A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Rövidített változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2005. február havi számának 6-7. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

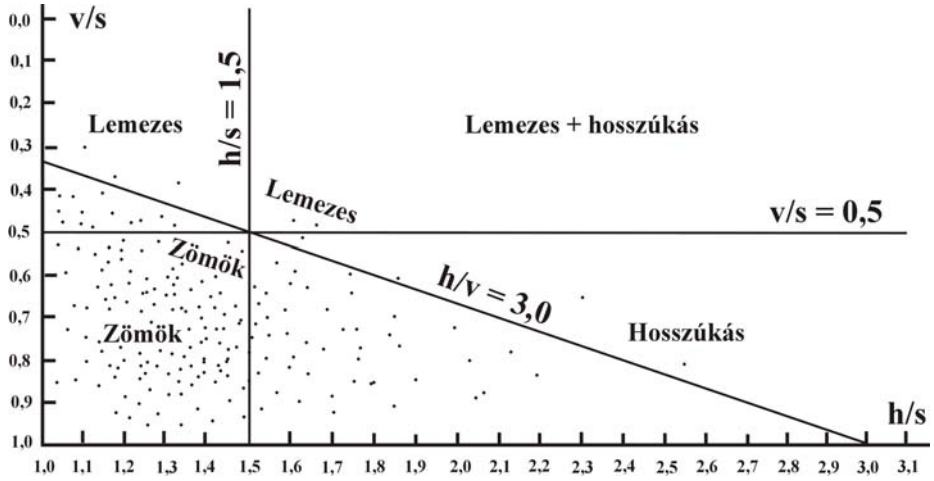
	Szemalak	

Németül:	Kornform
Angolul:	Particle shape
Franciául:	Forme des granulats

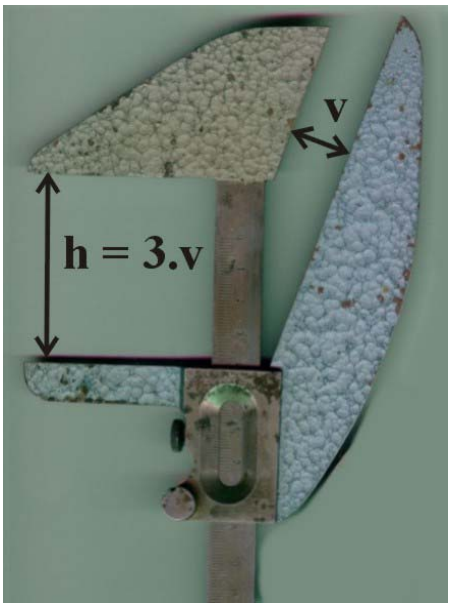
A szemalak az adalékanyagot ❖ jellemző geometriai fogalom, a szemmegoszlással ❖ együtt része a szemszerkezetnek. Tárgyalása során a szem nagyságától és felületi érdességétől elvonatkoztatunk, és fogalom-meghatározását a *4 mm-nél nagyobb* szemnagyságú szemekre értelmezzük. A szem alakját a képzeletben köré írható szabályos alakú test (például hasáb vagy ellipszoid) egymásra merőleges három fő méretének (**h**osszúság ≥ **s**zélesség ≥ **v**astagság) tengelyarányával fejezzük ki. A h/s és v/s tengelyű koordinátarendszerben az adalékanyag 4 mm feletti frakcióinak szemalakját ponthalmazzal, a tengelyarányokat egyenes vonallal lehet ábrázolni (MSZ 18228-3:1978). A h/s = hosszúság/szélesség hányados 1,0 és 3,5 közé eső (a hosszabb szemek általában eltörnek), és a v/s = vastagság/szélesség hányados 1,0 és zérus közé eső viszonyszám. Kocka vagy gömb esetén: h = s = v. Az MSZ 18288-3:1978 szabvány nevezéktana szerint

- a szem zömök, ha $1,0 \leq h/s < 1,5$ és $1,0 \geq v/s > 0,5$
- a szem hosszúkás, ha $1,5 \leq h/s < 3,5$ és $1,0 \geq v/s > 0,5$
- a szem lemezes, ha $1,0 \leq h/s < 1,5$ és $0,5 \geq v/s > 0,0$
- a szem hosszúkás + lemezes, ha $1,5 \leq h/s < 3,5$ és $0,5 \geq v/s > 0,0$

A *zúzottkövek* ❖ *4 mm-nél nagyobb* (ún. durva) szemeinek szemalakját három fő méret helyett két fő méret viszonyszámával fejezik ki. A v/s tengelyaránnyal való jellemzés napjainkig volt szokásos (ÚT 2-3.601:1998 útügyi műszaki előírás), és zömök alakúnak az $1,0 \geq v/s > 0,5$ viszonyszámú, lemezes alakúnak a $0,5 \geq v/s > 0,0$ viszonyszámú szemeket nevezték (MSZ 18228/3:1978). A közelmúltban érvényre lépett európai adalékanyag termék szabványok (MSZ EN 12620:2003, MSZ EN 13043:2003 stb.) és az új ÚT 2-3.601:2005 útügyi műszaki előírás a szemalakot a h/v tengelyaránnyal jellemzik, eszerint zömök alakúak az $1,0 \leq h/v \leq 3,0$ viszonyszámú és lemezes alakúak a $h/v > 3,0$ viszonyszámú szemek (*1. ábra*), amelyek a gyakorlatban az MSZ EN 933-4:2000 szerinti szemalak tolómérővel (*2. ábra*) egyszerűen szétválaszthatók, és mennyiségük a frakcióban tömeg%-ban kifejezhető.



1. ábra. Szemalak ábra



2. ábra. Szemalak tolómérő

Az MSZ EN 933-3:1998 (módosítva 2004-ben) szabvány a szűk frakcióhatárú durva zúzottkő mintában réses rosta alkalmazásával, hozzávetőlegesen a v/s = 0,56 tengelyaránynál osztja ketté a zömök és a lemezes szemeket.

A homokok ❖ és a *4 mm-nél kisebb* szemnagyságú (ún. finom) zúzottkő frakciók szemalakja közvetve a kifolyási idővel fejezhető ki, amit kifolyási tölcsérrel lehet mérni (MSZ 18288-3:1978 és MSZ EN 933-6:2003). Az „A" jelű (Φ10 mm nyílású) tölcsért 0,063 – 1,0 mm szemnagyságú, a „B" jelű (Φ25 mm nyílású) tölcsért 1,0 – 4,0 mm szemnagyságú vizsgálati minta esetén kell használni. A vizsgálat eredménye az 1 dm^3 testtérfogatú szemhalmaz kifolyásához szükséges idő másodpercben, amit kifolyási számnak nevezünk.

3. ábra. Kifolyási idő mérő tölcsér

A bányahomokok általában gömbölyűbb szemalakúak, mint a folyami homokok, ezért vakoláshoz a bányahomokok kedveltebbek. A *kavicsok* ❖ szemalakját nem tudjuk befolyásolni, ezért vizsgálni sem szokás. A *zúzottkavics* szemalakját ugyan úgy jellemezzük és vizsgáljuk, mint a zúzottkőét.

A *zúzottkövek* szemalakja az aprítógép megválasztásával (például röpítőtörő) és/vagy többszöri töréssel zömökebbé tehető. Az aszfalt- és a betonútépítők, de a zúzottkőbeton gyártók és felhasználók is első sorban a zömök alakú zúzottkövet keresik: egyrészt, mert az ilyen beton könnyebben bedolgozható, másrészt, mert kevésbé koptatja a gyártó és szállító berendezést, harmadrészt, mert a felület könnyebben eldolgozható, negyedrészt, mert a felület igénybevétele során a szemek kevésbé peregnek ki. A lemezes alakú zúzottkő adalékanyag növeli a beton cementigényét, és általában folyósítószer adagolást is szükségessé tesz. A zömök szemalak a beton nyomószilárdságát ❖, a lemezes szemalak a beton hajlító-húzószilárdságát ❖ javítja. A zömök szemalakú zúzottkő kevésbé aprózódik: Los Angeles aprózódási vesztesége kedvezőbb (kisebb), mint ugyan azon, de lemezes szemalakú zúzottkőé, ami a kőzetfizikai csoportba sorolás tekintetében is előnyös lehet.

Felhasznált irodalom:

Kausay Tibor: Az adalékanyag alakjának hatása a betonszilárdságra. A SZIKKTI 21. sz. tudományos közleménye. ÉTK. Budapest, 1967.

Kausay Tibor: A szemcsealak statikai szerepe a betonban. Építőanyag. XIX. évf. 1967. 3. szám. pp. 110-115.

Kausay Tibor: Összefüggés a zúzottkő- és kavicstermékek szemalakja és Los Angeles vizsgálat szerinti aprózódási vesztesége között. I. és II. Építőanyag. XXIII. évf.1971. 7. szám pp. 248–254. és 8. szám. pp. 288-297.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2005. május havi számának 12-13. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Kötőanyagok 1. Levegőn szilárduló szervetlen kötőanyagok: mész, gipsz, magnézia, nátron-üveg	

Németül:	Bindemittel: Kalk, Gips, Magnesia, Natronwasserglas
Angolul:	Binding material: whitening, gypsum, magnesia, natron water-glass
Franciául:	Liant: chaux, gypse, magnésie, silikate de soude

Kötőanyagnak a különféle építési célú keverékek aktív összetevőit nevezzük, amelyek fizikai vagy kémiai folyamat révén tartós kohéziót adnak az inert adalékanyag ❖, a kötőanyag és egyéb anyagok (leggyakrabban víz ❖) keverékéből előállított építőanyagnak. A kötőanyagokat többféle szempont szerint lehet csoportba sorolni, a kötőanyag lehet:

- *természetes* (pl. agyag, bitumen, gyanta), *mesterséges* (pl. égetett mész, gipsz, magnézia, cement, kátrány, műanyag);

- *szervetlen* (pl. agyag, mész, gipsz, magnézia, cement), *szerves* (pl. bitumen, kátrány, enyv, gyanta, műanyag);

- *folyékony* (pl. bitumen, kátrány, nátron-vízüveg), *szilárd* (pl. égetett mész, gipsz, magnézia, cement);

- *fizikai folyamattal kötő* (pl. agyag, bitumen, enyv, nátron-vízüveg), *kémiai folyamattal kötő* (pl. mész, gipsz, magnézia, cement);

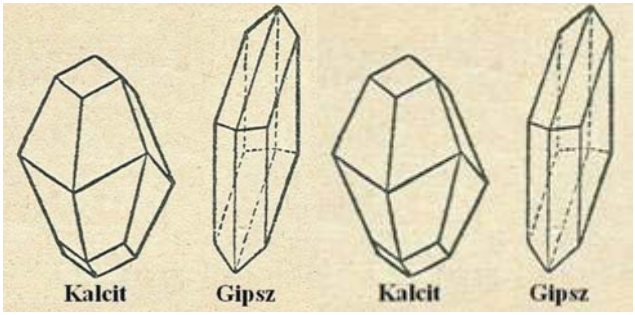
- *levegőn szilárduló* (pl. agyag, mész, gipsz, magnézia, nátron-vízüveg, műanyag), *hidraulikus,* azaz víz alatt is szilárduló (pl. cement) ❖, *gyengén hidraulikus* (pl. hidraulikus mész, románcement vagy románmész, mészpuccolán) ❖, *hidraulit* vagy *hidraulikus kiegészítő anyag* (pl. trasz, kohósalak, pernye) ❖.

Betontechnológiai szempontból jelentős *levegőn szilárduló szervetlen kötőanyag* a mész és a gipsz, de említésre méltó a magnézia és a vízüveg is:

Mész, a legrégibb, évezredek óta használt, mesterségesen előállított kötőanyag. A hazánkban is bőségesen rendelkezésre álló *mészkőből* ($CaCO_3$) gyártják, amelynek (900 – 1500) °C közötti hőmérsékleten való égetésével első lépésben *darabos égetett meszet* (CaO) állítanak elő. Az égetés hőelvonó (endoterm) folyamat, amelynek hőmennyiség igénye mintegy 425 kcal/kg (~ 1780 kJ/kg). Az égetett mészből víz hozzáadásával *oltott meszet* ($Ca(OH)_2$) készítenek. A mészoltás hőfejlesztő (exoterm) folyamat, amelynek során mintegy 272 kcal/kg (~ 1140 kJ/kg) hőmennyiség keletkezik. (Ezt a körülményt pl. gázbeton ❖, kereskedelmi elnevezéssel pórusbeton gyártásakor jól ki lehet használni.) A mészoltás vízigénye (50 – 70) tömeg%, eredménye a *mészpép* (*oltott mész*). Ha az égetett meszet kevés vízzel (mintegy 32 tömeg%) oltják be, akkor *porrá oltott meszet*, más néven *mészhidrátot* kapnak. A mészpép és a mészhidrát lúgos kémhatású. Kötése és szilárdulása kémiai folyamat, a levegő szén-dioxidjának (CO_2) felvételével, víz kiválása és lúgos kémhatásának fokozatos elvesztése közben, lassan mészkővé alakul vissza (karbonátosodik).

A mészpép és mészhidrát fő alkalmazási területe a habarcskészítés ❖, ahol a karbonátosodás ❖ kifejezetten kedvező, szilárdság ❖ növelő, porozitás ❖ csökkentő jelenség. A cementkőben ❖ lévő szabad kalcium-hidroxid karbonátosodása beton ❖ esetén szintén hasznos körülmény, ezzel szemben vasbeton ❖ esetén kifejezetten kedvezőtlen jelenség, mert a folyamat előrehaladtával a karbonátosodott felületi betonréteg lassan eléri az acélbetétet ❖, amely a lúgos környezet megszűntével korrodálni ❖ kezdhet. Ezért igen

fontos a betonfedés ❖ vastagságának a vasbeton környezeti osztálya ❖ szerinti, megfelelő megválasztása.



1. ábra. A kalcit (mészkövet alkotó ásvány) és a gipsz (gipszkövet alkotó ásvány) kristály rajza
dr. Vendl Aladár egy. tanár Geológia c. egyetemi tankönyvéből (1953)

<u>*Gipsz*</u>, szintén évezredek óta alkalmazott, mesterségesen előállított kötőanyag. Alapanyaga a *gipszkő* ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) vagy a *félhidrát* ($CaSO_4 \cdot ½H_2O$), amelynek mindkét változata a természetben (pl. Erdélyben) igen elterjedt üledékes kőzet. Az *anhidritet*, másképp az *égetett gipszet* ($CaSO_4$) a gipszkőből — kiűzve belőle a szerkezetileg kötött kristályvíz nagy részét — 180 °C feletti hőmérsékleten való hevítéssel állítják elő. Ha (60 – 180) °C közötti hőmérsékleten való hevítéssel a gipszkő kristályvízének csak egy részét, rendesen háromnegyedét távolítják el, akkor *félhidrát* keletkezik, amelyet *stukkógipsznek* is neveznek. A porrá őrölt anhidrit vagy félhidrát a tulajdonképpeni *gipsz* (őrölt égetett anhidrit vagy félhidrát). A gipszet vízzel összekeverve, levegőn visszaalakul szilárd gipszkővé. A gipszkő, a félhidrát, az anhidrit vízben gyengén oldódó anyag, ezért külső térben óvatosan kell alkalmazni.

A gipszet (stukkógipszet) első sorban simításra, kiegyenlítésre, továbbá térhatároló szerkezetek, burkolatok, tűzvédelmi lemezek (összefoglaló néven „szárazépítés” céljára), valamint díszítő elemek készítésére (épületszobrászat céljára) használják.

Az *esztrichgipszet* (*padozatgipszet*) (700 – 1000) °C közötti hőmérsékleten állítják elő, és porrá őrölik. Vízzel keverve megköt, sokkal keményebb és ellenállóbb lesz, mint a „stukkógipsz”; gipszesztrich padlóbevonatok készítésére alkalmas.

Az *alabástrom* (az egyiptomi Alabastron város neve után) szemcsés szerkezetű gipszkő, amelyet szobrászati és díszítőipari célra használnak, főként ha kevés kovasavat is tartalmaz; az ilyen *kemény alabástrom* jól fényezhető.

A gipsz betontechnológiailag fontos alkalmazása, hogy a cementnek mellékalkotórésze (MSZ EN 197-1:2000). Mintegy 3 tömeg%-ban, gipszkő, anhidrit vagy félhidrát alakjában adagolják a cement-klinkerhez és együtt őrlik azzal. A gipsznek a cementben kötésszabályozó szerepe van, hatására a cement lassabban köt. Ugyancsak kötésszabályozó szerepe miatt van szükség a gipszkőre a gázbeton (pórusbeton) gyártásánál.

Újabban az erőművi füstgázok kén-dioxid tartalmának kimosásával gyártanak gipszet (*REA-gipsz*), első sorban cementgyári felhasználás céljára. Az erőművi füstgáz-mosótoronyban a füstgázba vizes mészkő-szuszpenziót permeteznek, amely kalcium-szulfát alakjában megköti a kén-dioxid-gázt. A környezetkímélő eljárás nem csak a légszennyezést csökkenti, hanem a felfogott kén-dioxid újrahasznosításával a szegényes gipszkő ásványvagyonunkkal (Alsótelekes) való takarékoskodást is lehetővé teszi.

<u>*Magnézia*</u> (MgO), ugyancsak levegőn szilárduló szervetlen kötőanyag. Magnezit kőzetből ($MgCO_3$) kb. (800 - 900) °C hőmérsékleten való égetéssel és őrléssel állítják elő. A magnézia és magnéziumklorid kb. 3:1 tömegarányú vizes keveréke 5 $Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8\ H_2O$

képződése mellett szilárdul. Ezt a kötőanyagot első alkalmazójáról (1867) *Sorel-cementnek* is nevezik. A francia *Stanislas Sorel* a feltalált kötőanyagot korund adalékanyag hozzákeverésével malomkövek gyártására használta. A *Sorel*-cement kedvező hajlító-húzószilárdsága és kopásállósága folytán egyebek mellett esztrichek, ipari padlóburkolatok készítésére alkalmas.

Nátron-vízüveg (Na_2SiO_3), amelyet nátrium-karbonát és homok (1300 - 1400) °C közötti hőmérsékleten való összeolvasztásával nyernek. Lehűtve üveggé dermed. Vízüveg-oldattal, mint kötőanyaggal, korrózióálló, saválló habarcsokat és betonokat lehet készíteni. Nem lúgálló. Meleg és száraz közegben szilárdul.

Felhasznált irodalom:

Palotás László dr.: Mérnöki szerkezetek anyagtana. 2. kötet. Fa – Kő – Fém – Kötőanyagok. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Építőanyag. 52. évf. 2000. 4. szám. Mészipari célszám

Vendl Aladár dr.: Geológia. I. kötet. Tankönyvkiadó. Budapest, 1953.

Biczók Imre: Betonkorrózió. Betonvédelem. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1956.

MSZ EN 459-1:2002 Építési mész. 1. rész: Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőségi feltételek

MSZ EN 459-2:2002 Építési mész. 2. rész: Vizsgálati módszerek

MSZ 108-2:1992 Mész és mésztermékek. Építési mész

MSZ 108-11:1992 Mész és mésztermékek. Fizikai vizsgálatok

MSZ EN 13279-2:2004 Gipsz kötőanyagok és gipsz vakolóhabarcsok. 2. rész: Vizsgálati módszerek

MSZ 57:1977 Gipsz kötőanyagok

MSZ EN 13318:2000 Esztrichhabarcsok és esztrichek. Fogalommeghatározások

MSZ EN 13813:2003 Esztrichhabarcsok és esztrichek. Esztrichhabarcs. Tulajdonságok és követelmények

MSZ EN 13892-1…-8:2003…2004 Esztrichhabarcsok vizsgálati módszerei.

MSZ EN 14016-1:2004 Magnezit esztrichek kötőanyagai. Magnézium-hidroxid és magnézium-klorid. 1. rész: Fogalommeghatározások, követelmények

MSZ EN 14016-2:2004 Magnezit esztrichek kötőanyagai. Magnézium-hidroxid és magnézium-klorid. 2. rész: Vizsgálati módszerek

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2005. szeptember havi számának 6-7. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Acélgyártás termékei és melléktermékei: Vasérc[1], nyersvas[2], kohósalak[3], öntöttvas[4], acél[5], Siemens-Martin salak[6]	

Németül:	Eisenerz[1], Roheisen (Schmelzeisen, Floßeisen)[2], Hochofenschlacke (Hüttenschlacke, Schmelzofenschlacke)[3], Gußeisen (Gußstahl)[4], Stahl[5], Siemens-Martinschlacke (SM-Schlacke, Martinschlacke, Martinofenschlacke)[6]
Angolul:	Iron ore[1], crude iron[2], foundry-slag[3], cast-iron[4], steel[5], Siemens-Martin-slag[6]
Franciául:	Mineral[1], fonte brute[2], laitier de haut-fourneau[3], fonte de fer[4], acier[5], laitier de Siemens-Martin[6]

Vasércnek az olyan vastartalmú kőzeteket (vaskőzeteket) nevezzük, amelyekben a vastartalmú ásványok koncentrációja már olyan magas fokú (legalább 25 tömeg%), hogy azokat kohászati úton érdemes feldolgozni. A vasérc-féleségek a vas- és acélgyártás kiindulási nyersanyagai, amelyek közül a legfontosabbak: hematit (vörösvasérc), magnetit (mágnesvasérc), limonit (barnavasérc), sziderit (pátvasérc), fayalit (szilikátos vasérc).

Magyarország vasércben szegény, művelésre egyedül a rudabányai előfordulás volt érdemes, amelynek vastartalma 24 – 36 tömeg%. A Rudabányai-hegység egész Európa egyik legrégibb bányahelye volt. Több jel mutat arra, hogy a szlávok már a honfoglalás előtt élénk bányászati és kohászati tevékenységet folytattak Rudabányán és környékén; Ruda szláv szó, magyar jelentése „érc, vasérc, vörös vasas föld”. A rudabányai bányászat újabbkori fellendülésének éve 1880, amikor a lelőhely korszerű kiaknázása nagyüzemi módszerekkel, külszíni fejtéssel megkezdődött. A vasércbányászatot és –dúsítást Rudabányán — bár az ásványvagyon még nem fogyott teljesen el — 1985. december 31-ével szüntették meg. 1948-től idáig csaknem 19 millió, a 105 év alatt összesen körülbelül 34 millió tonna volt a kitermelt vasércmennyiség.

A **nyersvasat** vasércből, nagyolvasztó kohóban állítják elő. Az előkészített (meddőtlenített, aprított, osztályozott, kevert, pörkölt stb.) vasércet koksszal és olvadáspontot csökkentő hozaganyaggal* helyezik a kohóba. Az olvadáspont csökkentő, salakképző hozaganyag rendszerint mészkő, dolomit, bauxit. A kohóból kikerülő nyersvas egy vasötvözet, amelynek széntartalma 2,5 - 5,0 tömeg%, és amely rendszerint 1 - 4 tömeg%-ban tartalmaz szennyezőket: mangánt, szilíciumot, ként, foszfort stb. A nyersvas-termelésnek kb. 10 - 15 tömeg%-át öntödei célokra használják fel, a többiből acélt gyártanak.

* Megjegyzés: A hozaganyag olvadáspont csökkentő szerepéhez hasonlítható például az utak téli jég- (csúszás-)mentesítéséhez használt olvasztósó hatása, amely a jég olvadási hőmérsékletét, vagy az üveggyártásnál nátrium-karbonáttal (szódával) bevitt nátrium-oxid hatása, amely az üvegolvadék olvadási hőmérsékletét csökkenti. Az ilyen folyékony oldatok neve: eutektikum.

A **kohósalak** a nyersvas előállításakor keletkező szilikátolvadék (nyersvas-gyártási melléktermék).

Ha a forró, tűzfolyós kohósalak-olvadékot gyorsan hűtik le, akkor szemcsés szerkezetű, nagyrészt üveges állapotú, ún. granulált kohósalak keletkezik, amelynek rejtett hidraulikus tulajdonsága van (*hidraulit* vagy *hidraulikus*

kiegészítő anyag: lásd a „Kötőanyagok 1.” ❖ szócikket). A granulált kohósalak finomra őrölve, és gerjesztőkkel (portlandcement, mészhidrát, őrölt égetett mész), valamint vízzel keverve, vagy portlandklinkerrel, égetett darabos mésszel, égetett dolomittal, anhidrittel (égetett gipsszel) együtt finomra őrölve, és vízzel keverve, víz alatt is megszilárduló kötőanyaggá válik (kohósalak-portlandcement, kohósalak-cement).

Ha a folyékony nagyolvasztó salakot 1 - 7 cm vastagságú rétegekben nagyméretű ágyba öntik, és egyenletesen, lassan (8 - 10 nap) hagyják lehűlni, akkor darabos kohósalakot nyernek. Ennek szerkezete tömör, és a hűtés során az önsúly-nyomás hatására átkristályosodik. Belőle töréssel, osztályozással feltöltési anyag, szórt útalap, út és vasúti felépítményi kohósalakkő, betonadalékanyag ❖ állítható elő. Ha a forró, folyékony kohósalakot egyenletesen eloszlatva, perforált, habosító tálcára juttatják, és a perforált falon át 4 - 5 atü nyomással vizet nyomnak, akkor a vízsugár a beömlő forró salakkal érintkezve gőzzé válik, és a salakot habosítja. A még izzó, de már habosított salak a hűtőtérre kerül, ahol lassan hűlve átkristályosodik. Ez a habosított kohósalak, amely törve és osztályozva hőszigetelő anyagként, vízszűrő anyagként; könnyűbeton-adalékanyagként ❖ hasznosítható.

Öntödei termék a nyersvasból előállított **öntöttvas és öntöttacél**. Az öntöttvas széntartalma több, mint 2,06 tömeg%, míg az öntöttacél széntartalma legfeljebb 2,06 tömeg%. Az öntöttvasból például szürkevas-öntvényeket gyártanak, az építőiparban szerkezeti anyagként ridegsége, kis húzószilárdsága miatt ma már nem igen használják. (Az első budapesti Lánchíd kereszttartói öntöttvasból készültek.) Az öntöttvas fajták esetén különbséget kell tenni a húzószilárdság és az annál jóval nagyobb nyomószilárdság között (vesd össze az acélok szilárdságával kapcsolatos megjegyzéssel). Az öntöttacélból nagyszilárdságú acélöntvényeket, például tartószerkezetekhez sarukat, csuklókat gyártanak. Bár a 2,06 tömeg%-nál kisebb széntartalmú vasfajtákat acéloknak nevezik, az öntöttacélt nem szokás a tulajdonképpeni acélok közé sorolni.

Az **acélt** nyersvasból gyártják. Az acélgyártásnak többféle módja van:

Konverteres (konverter = a nyersvas hevítésére használt körte vagy henger alakú tartály) eljárások, például Bessemer-, Thomas-eljárás, amelyekkel csak speciális összetételű nyersvasakat lehet feldolgozni;

Martin-eljárás (Siemens-Martin eljárás), amely a nyersvas összetételére nem kényes. A Martin-kemence váltakozó lángjárású gázkemence.

Az építőipari acélok széntartalma kevesebb, mint 1,7 tömeg%. Főbb csoportosításuk az alakítás, a tulajdonságok, a felhasználás szerint a következő:

Melegen hengerelt szerkezeti acél;
Hegeszthető betonacél:
- melegen hengerelt és hengerléssel együtt bordázott betonacél, tényleges folyáshatárral (*1. ábra*) ❖,
- melegen hengerelt és utána hidegen bordázott betonacél, tényleges folyáshatárral,
- hidegen hengerelt vagy hidegen húzott és így bordázott betonacél, 0,2 %-os egyezményes folyáshatárral;

Melegen hengerelt feszítőacél (feszítőrúd);
Hidegen húzott feszítőacélok (feszítőhuzal, feszítőpászma) ❖.

Megemlítjük, hogy az acélok nyomódiagramja hasonló a húzódiagramjukhoz, de a nyomószilárdság a húzószilárdságnál valamivel nagyobb, ezért a húzószilárdságot tekintik mértékadónak, és a nyomószilárdságot nem vizsgálják (vesd össze az öntöttvasnál mondottakkal). Ez a gyakorlat a betonacélok és a feszítőacélok esetén annál is indokoltabb, hiszen ezeket az acélfajtákat húzásra vesszük igénybe.

1. ábra. Melegen hengerelt betonacél tekercs

A **Siemens-Martin (acél-gyártási) salak** a Martin-eljárás szerinti acélgyártás során keletkezik, tehát acél-gyártási melléktermék. A Martin-salak sokkal több szennyező anyagot tartalmaz, mint a kohósalak, a kétféle salak között összetétele és eltérő tulajdonságai folytán éles különbséget kell tenni. Például az ózdi Martin-salakot sajnos az 1990-es évek elején felhasználták betonadalékanyagként, de mint ilyen, az néhány év alatt a beton tönkremenetelét okozta. Ennek oka az volt, hogy az ózdi Martin-acélsalak szabad magnézium-oxidot (periklászt) tartalmaz, amely nedvesség (a levegő páratartalma) hatására a betonban lassan beoltódik, és dolomit-mészhidráttá (brucittá) átalakulva térfogatát kétszeresére növeli, és a megszilárdult betont összerepeszti. A betont a Martin-salak kéntartalma is károsíthatja.

Felhasznált irodalom:
Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.
Révay Miklós: Kis magyar cementkémia. Beton. IX. évf. 2001. 7 - 8. szám. pp. 7 - 9.
http://www.rudabanya.hu/index.php?mit=tortenelem

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Lásd még a http://www.betonopus.hu/notesz/kutyanyelv/acelgyartas.pdf oldalt is.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2005. november havi számának 6-7. oldalán

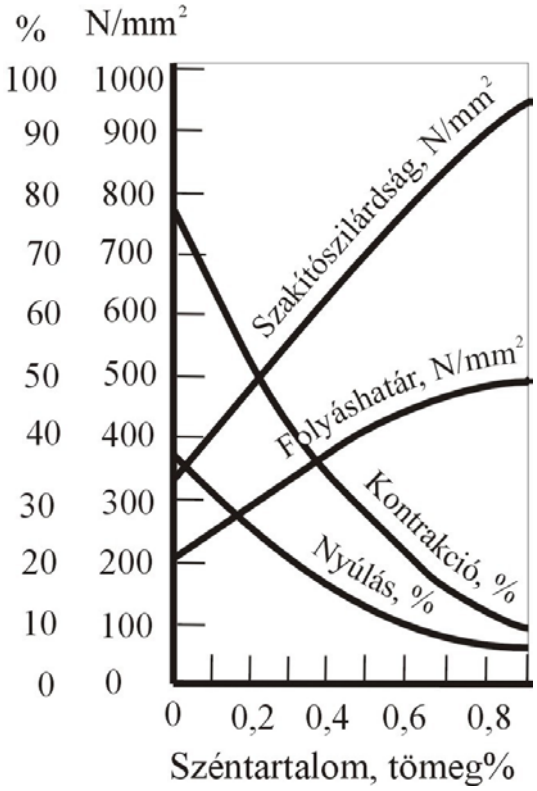
Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

	Acélok széntartalma[1], hegeszthetősége[2], alakváltozása[3]	

Németül:	Kohlenstoffgehalt[1], Schweißbarkeit[2], Verformung[3]
Angolul:	Carboncontent[1], weldability[2], deformation[3]
Franciául:	Teneur en carbone[1], soudabilité[2], déformation[3]

Acéloknak azokat a — nyersvas feldolgozásával nyert — kis széntartalmú vas-szén ötvözeteket tekintjük, amelyek **széntartalma kevesebb, mint 2,06 tömeg%**. Az öntött acélok széntartalma 1,70 – 2,06 tömeg%, a tulajdonképpeni építőipari acélok széntartalma kevesebb, mint **1,7 tömeg%**

A **szén** az acél legfontosabb ötvözője. A széntartalom növekedésével növekszik a melegen hengerelt acél ❖ folyáshatára és szakítószilárdsága ❖, csökken a nyúlása, kontrakciója és ütőmunkája (*1. ábra*). Az acélok nyomódiagramja hasonló a húzódiagramjukhoz, de a nyomószilárdság ❖ a húzószilárdságnál ❖ valamivel nagyobb, ezért a húzószilárdságot tekintik mértékadónak, és a nyomószilárdságot nem vizsgálják.



1. ábra. A széntartalom hatása az acél mechanikai tulajdonságaira.
Forrás: Dr. Palotás László: Fa –kő – fém – kötőanyagok.
Mérnöki szerkezetek anyagtana, 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

A szenen kívül más ötvözőt nem tartalmazó ún. ötvözetlen szénacél általában akkor **hegeszthető**, ha a **széntartalma** legfeljebb 0,22 – 0,25 tömeg%. A hegeszthető acél ne legyen edzhető. (Edzés az a hőkezelési eljárás, amikor az acélt felmelegítik 950 °C fölé, majd nagy sebességgel lehűtik. Az edzés célja a nagykeménységű szövetszerkezet előállítása. Az erősen edzett acélok üvegszerűen ridegek.) A nem edzhető acél-ötvözetek az edzhetőknél puhábbak,

ezért azokat lágyvasnak (lágyacélnak) nevezik, és *általában* meleg hengerléssel gyártják. A 0,22 – 0,25 tömeg%-nál nem nagyobb széntartalmú *melegen hengerelt acélok* tehát hegeszthetők. A *hidegen húzott feszítőhuzalok* ❖ (ötvözetlen acélhuzalok) széntartalma 0,45 – 0,80 tömeg%, tehát nem hegeszthetők.

A szenen kívül más ötvözőt is tartalmazó, ún. ötvözött szénacél hegeszthetőségét az ötvöző elemek (szén, mangán, króm, molibdén, vanádium, nikkel, réz,) mennyiségét is figyelembe vevő szénegyenérték (C_{ekv}) fejezi ki, amelynek megengedett legnagyobb értéke a hegesztendő anyag vastagságától (d) függ, elegendő üzembiztonság mellett például d = 6,35 mm esetén $C_{ekv} \leq 0{,}45$ tömeg%, d = 12,7 mm esetén $C_{ekv} \leq 0{,}40$ tömeg%, d = 25,4 mm esetén $C_{ekv} \leq 0{,}35$ tömeg% [Forrás: Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984. 12.7. táblázat]. A szénegyenértéket (C_{ekv}) a hegeszthető betonacélokra az EN 10080:2005 európai szabvány az anyagvastagságtól függetlenül a következő képletből számítja ki:

$$C_{ekv}{}^{\%} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

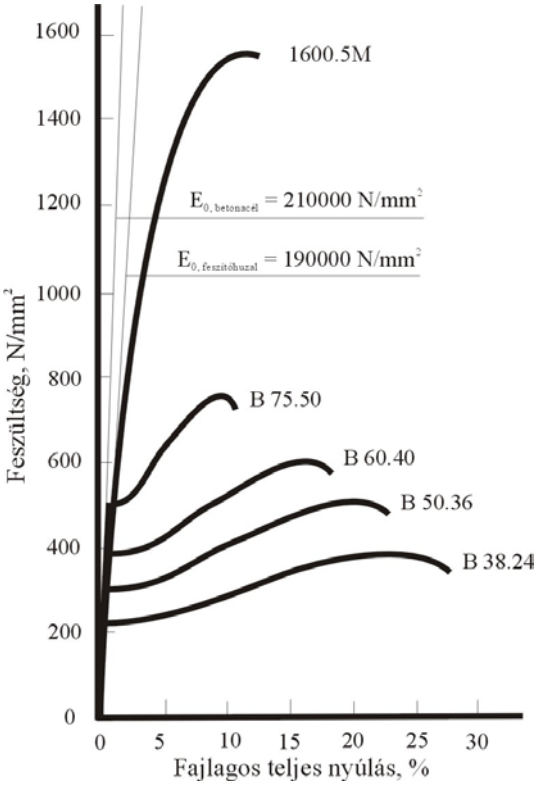
és a hegeszthetőség feltételeként olvadékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}22$ és $C_{ekv}{}^{\%} \leq 0{,}50$ tömeg%, illetve termékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}24$ és $C_{ekv}{}^{\%} \leq 0{,}52$ tömeg% követelményt támasztja.

A *2. ábra* különböző szakítószilárdságú melegen hengerelt (jele B) és csavart betonacélok (jele Cs), valamint egy hidegen húzott feszítőhuzal (jele: 1600.5M) jellegzetes **feszültség – fajlagos alakváltozás (σ – ε) diagramját** ❖ egy koordinátarendszerben ábrázolva veti össze. A melegen hengerelt acélok és betonacélok legfőbb jellemzője a folyáshatárnak nevezett feszültség, amelyet a lényegében változatlan erő mellett fellépő nyúlások jellemeznek. Az ún. felső folyáshatár elérése után a σ – ε ábra kissé visszaesik, és ezt az ún. alsó folyáshatárt felkeményedő szakasz követi egészen a szakadásig. A termékszabványok általában a felső folyáshatárt nevezik meg. A hideg átalakítás során a melegen hengerelt csavart betonacélok és az ugyancsak melegen hengerelt acélból gyártott hidegen húzott feszítőhuzalok elvesztik folyáshatárukat.

Az acél folyáshatárának az igénybevehetőség szempontjából nagy jelentősége van. A beépített melegen hengerelt acél a határszilárdságig terhelhető, amely határszilárdság a folyáshatár és a biztonsági tényező hányadosa. A hidegen átalakított acélok sem vehetők igénybe a szakítószilárdságig, hanem csak a számítással meghatározható névleges, vagy egyezményes folyáshatár és a biztonsági tényező hányadosát képező határszilárdságig.

A **határszilárdság** meghatározásához az épületek acélszerkezeteire vonatkozó MSZ ENV 1993-1-1:1995 (Eurocode 3) szabványtervezet szerint a melegen hengerelt szerkezeti acél képlékeny teherbírásra vonatkozó **biztonsági tényezőjének** az értéke 1,1. Az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány szerint a betonacél folyáshatárának, a feszítőhuzal és a feszítőpászma 0,1 %-os egyezményes folyáshatárának biztonsági tényezője 1,15.

A *2. ábrán* megfigyelhető, hogy a szilárdság növekedésével csökken a teljes nyúlás és a szakadási nyúlás is. A *2. ábrán* az $E_{0,\ betonacél} = 210.000\ N/mm^2$ a melegen hengerelt betonacél, az $E_{0,\ feszítőhuzal} = 190.000\ N/mm^2$ a hidegen húzott feszítőhuzal kezdeti rugalmassági modulusa ❖.



2. ábra. Betonacélok és feszítőhuzal jellegzetes σ – ε diagramjainak összevetése.
Forrás: Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.

Felhasznált irodalom:

Balázs György: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó. Budapest, 1984.
Palotás László: Fa –kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana, 2. kötet. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

Lásd még a http://www.betonopus.hu/notesz/kutyanyelv/acelgyartas.pdf oldalt is.

Megjelent a	BETON szakmai havilap	2005. december havi számának 10-11. oldalán

Vissza a fogalmak tartalomjegyzékéhez

Betonadalékszerek

Németül:	Betonzusatzmittel
Angolul:	Concrete admixtures
Franciául:	Adjuvants pour béton

Mind a friss, mind a megszilárdult beton tulajdonságai különleges rendeltetésű építőipari vegyi anyagokkal, ún. adalékszerekkel befolyásolhatók. Az adalékszerek folyékonyak vagy poralakúak, kémiailag és/vagy fizikailag hatnak, főhatásuk mellett mellékhatásuk is van, amely az alkalmazás szempontjából káros is lehet.

Az adalékszerek viszonylag kis mennyiségben fejtik ki hatásukat, adagolásuk felső határa beton és vasbeton esetén a cementtartalomra vetített 5 tömeg%, többféle adalékszer alkalmazása esetén összesen 6 tömeg%. Feszített vasbeton esetén az adalékszer adagolás felső határa a cementtartalomra vett 2 tömeg%. A 2 tömeg%-nál kisebb adagolás akkor megengedett, ha az adalékszert a keverővíz egy részében feloldják. Nagyszilárdságú betonba legfeljebb a cementtartalomra vett 7 tömeg%, többféle adalékszer alkalmazása esetén összesen legfeljebb 8 tömeg% adalékszert szabad adagolni.

Az adalékszerek ne károsítsák a betont (pl. a nagy alkálitartalmú adalékszer és az erre érzékeny adalékanyag egymásra hatásából alkáli reakció jöhet létre). Vasbeton vagy feszített vasbeton, és acélszál-erősítésű beton készítése esetén csak kloridmentes adalékszert szabad alkalmazni. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint az adalékszer akkor kloridmentes, ha a halogén elemek mennyisége (a fluort kivéve) az adalékszerben kloridion egyenértékben számolva legfeljebb 0,2 tömeg% vasbeton szerkezet esetén, és legfeljebb 0,1 tömeg% feszített vasbeton szerkezet esetén; ill. az adalékszer megengedett legnagyobb adagjának kétszeresét alapul véve a betonba a cementre számítva legfeljebb 0,002 tömeg%, azaz legfeljebb 2 g Cl^-/(100 kg cement) kloridion kerül.

Az adalékszereknek az alkalmazott cementtel, és többféle adalékszer alkalmazása esetén egymással való összeférhetőségét igazolni kell.

Bármilyen adalékszert csak akkor szabad használni, ha az adalékszerrel alkalmassági vizsgálat is készült, és csak úgy, ahogy azt már a betonkeverék tervezésénél figyelembe vették.

A folyékony adalékszerek víztartalmát a víz-cement tényező ❖ (folyadék-cement tényező) számításánál figyelembe kell venni, és ennyivel csökkenteni kell a tényleges vízadagolást ❖, ha az eléri a 3 liter/(beton m^3) értéket.

A betontechnológiában alkalmazható legfontosabb adalékszerek a következők:

- képlékenyítő adalékszerek,
- folyósító adalékszerek,
- kötéskésleltető (kötéslassító),
- kötés-, ill. szilárdulásgyorsító adalékszerek,
- légbuborékképző adalékszerek,
- vízzáróságfokozó (tömítő) adalékszerek,
- stabilizáló adalékszerek,
- injektálást segítő adalékszerek,
- adalékszerek lőtt betonhoz (lövellt betonhoz).

A betonadalékszerek mintavételére és megfelelőség-ellenőrzésére vonatkozó előírások az MSZ EN 934-6:2002 szabványban, a minőségi követelmények a harmonizált ❖ MSZ EN 934-2:2002 szabványban találhatók. Az injektálást segítő adalékszerekkel az MSZ EN 934-4:2006 szabvány foglalkozik. Általános követelmények az egyenletesség, szín, hatékony alkotórészek, folyékony adalékszer relatív sűrűsége, és szárazanyagtartalma, pH-érték, kötésre gyakorolt hatás, összes és vízoldható kloridiontartalom, alkáli egyenérték, korróziós viselkedés. A vizsgálatokat az MSZ EN 480 szabványsorozat szerint kell végezni.

Az alkalmazás során az MSZ 4798-1:2004 szabvány adalékszerekre vonatkozó fejezete szerint kell eljárni.

Képlékenyítő adalékszerek

(Németül: Verflüssiger; angolul: Plasticizing admixtures; franciául: Plastifiants réducteur d'eau)

A képlékenyítőszerek gyakorlatilag a betonépítés minden területén (pl. transzportbeton ❖, korai állékonyságú ún. zöldbeton ❖, vízzáróbeton ❖, zúzottkőbeton ❖, szivattyús beton ❖, tömegbeton ❖) alkalmazhatók. Csökkentik a beton vízigényét ❖, ezáltal javítják a bedolgozhatóságát ❖, illetve a vízmegtakarítás folytán azonos cementtartalom mellett növelik a beton szilárdságát ❖.

A legtöbb képlékenyítőszer lignin-szulfonsav sója, vagy polimer-féleség, például akril-fenolglikoléter bázisú szer. A képlékenyítőszerek csökkentik a víz felületi feszültségét, miáltal a beton szilárd alkotórészei jobban benedvesíthetőek, és a vízfilm vastagsága csökken. Elősegítik a cement finom eloszlatását (diszpergálódását), így homogénebbé teszik a cementpépet, csökkentik a szilárd betonalkotók közötti súrlódást, és javítják a bedolgozhatóságot. A vízfilm vastagság csökkenésének köszönhetően lecsökken a kivérzési hajlam, és a szétosztályozódás veszélye a friss beton szállítása és bedolgozása közben.

Ha a friss beton bedolgozhatósága képlékenyítőszer nélkül is megfelelő, akkor alkalmazásával, azonos bedolgozhatóság mellett a vízadagolás kb. 5 – 15 tömegszázalékkal csökkenthető, így azonos cementtartalom esetén a víz-cement tényező lecsökken, vagy a víz-cement tényező változatlanul tartása mellett a cementtartalom válik csökkenthetővé.

A kisebb vízadagolás következtében azonos bedolgozhatóság mellett szilárdabb, tömörebb, kisebb áteresztőképességű, kisebb vízfelvételű, tartósabb lesz a beton. A csökkentett víz-cement tényező és/vagy cementtartalom kedvezően befolyásolja a zsugorodást és a kúszást. A csökkentett cementtartalom folytán a tömegbetonok kevésbé melegszenek fel, kisebb belső feszültségek ébrednek.

Az MSZ EN 934-2:2002 szerinti követelmények a képlékenyítő adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított vízigény csökkenés, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 7 és 28 napos korban.

Folyósító adalékszerek

(Németül: Fließmittel; angolul: Superplasticizing admixtures; franciául: Superplastifiants haut réducteur d'eau)

A folyósítószerek hatása a képlékenyítőszerek hatásának két-háromszorosa.

A folyósító adalékszereket általában vízcsökkentés és konzisztencia-javítás együttes céljával kell alkalmazni. Az ≥ S4, V4, ≥ F4 konzisztenciájú ❖ betont csak folyósító adalékszerrel szabad előállítani.

Az alkalmazandó folyósító adalékszer, illetve adalékszer kombináció kiválasztásánál figyelembe kell venni:

- a friss betonkeveréknek az adott körülmények (hőmérséklet, víz-cement tényező, cementtípus, szállítási távolság stb.) között megfelelő eltarthatóságát;

- a készítendő szerkezetbe történő minél jobb bedolgozhatóságot;

- a cementpéptartalom csökkentésének megvalósítható legnagyobb mértékét, amely mellett a bedolgozhatóság nem romlik (előnyt jelent a stabilizálószerek vagy a stabilizálószerekkel kombinált folyósítószerek alkalmazása).

A folyósítószereknek hatóanyaguk szerint alapvetően több csoportját lehet megkülönböztetni:

- lignin-szulfonát bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1930). A lignin a cellulóz mellett a fák fő alkotója. A lignin-szulfonát modifikált természetes anyagnak tekinthető, a tömör betonok készítésének első folyósítószere. Várható vízcsökkentő hatása 5-10 %;

- glükoz bázisú adalékszerek (az első alkalmazás éve: 1940). Alkalmazása nem terjedt el;

- naftalin-formaldehid-szulfonát bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1970). A jelentősebb mértékben csökkentett víz-cement tényezőjű betonok első folyósítószere. Várható vízcsökkentő hatása 15-25 %;

- melamin-formaldehid-szulfonát bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1980). Folyós betonok készítésére alkalmas folyósítószer, amely nagy korai szilárdságot is eredményez. Várható vízcsökkentő hatása 12-20 %; A naftalin- vagy melamin-formaldehid-szulfonát bázisú adalékszerek adagolandó mennyisége a megfelelő folyósság eléréséhez a cementtartalomra vetítve 0,5 – 2,0 tömeg%.

- szulfonált-vinilkopolimer bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 1990). A nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú, nagytömörségű (a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ C55/67) betonok első folyósítószere. Várható vízcsökkentő hatása 20-35 %. Nevezik szuper-folyósítószernek is;

- polikarboxilat bázisú folyósítószerek (az első alkalmazás éve: 2000). Az öntömörödő betonok speciális adalékszere. Alkalmazásával a beton víz-kötőanyag tényezője különleges esetekben akár 0,22-nál is kisebb lehet. Nevezik szuper-folyósítószernek is.

A szuper-folyósítószerek hatásideje mintegy félóra. Ezért a friss beton gyors meghúzása miatt utóadagolásuk is megengedett. Sok esetben kombinálják a szuper-folyósítószerek adagolását a hagyományos folyósítószerével úgy, hogy a transzportbeton üzemben az alap-konzisztenciát hagyományos folyósítószerrel állítják be, és a szuper-folyósítószert csak az építéshelyen keverik a betonba a beépítési konzisztencia beállításának céljából. Kiegészítésképpen kötéslassítószer és légbuborékképzőszer alkalmazása is szükséges lehet.

A nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú betonok (a beton nyomószilárdsági osztálya ≥ C55/67) előállítására szilikaporból és szuper-folyósítószerből álló poralakú kompozitok is beszerezhetők. A nagyszilárdságú betonok ismertetőjele a kis víz-kötőanyag tényező, ahol kötőanyag alatt a cement és a hidraulikus kiegészítőanyag összegét kell érteni. A víz-kötőanyag tényező (beleszámítva az adalékszer víztartalmát is) értéke általában kisebb, mint 0,36, különleges esetekben akár, mint 0,22. A portlandcementek ún. kémiai vízigénye 0,25-0,27 körüli. A 0,22 értékű víz-kötőanyag tényező alkalmazásánál a teljes hidratációhoz szükséges vizet később kell pótolni.

A szuper-folyósítószerrel készített friss nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú beton konzisztenciája általában önthető, mégis ragadós. A ragadósság csökkentésére olykor légbuborékképzőszert szoktak adagolni. Minthogy a szuper-folyósítószer hatásaként a beton általában gyorsan köt, a légbuborékképzőszer utóadagolása lehet szükséges.

A nagy kötőanyag-tartalom miatt előnyös, ha a friss nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú beton kis hőmérsékletű, és ezért célszerű lehet az adalékanyagot hűteni.

A nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú beton kémiai ellenállása nagyobb, jobban ellenáll az acélkorróziós hatásoknak és az erős mechanikai koptató igénybevételeknek.

A nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú beton utókezelése különösen fontos. Feltétlenül szükséges a beton utókezelését a bedolgozás után azonnal megkezdeni, hogy ne lépjenek repedések fel, és a beton tartóssága biztosított legyen.

A nagy-teljesítőképességű, nagyszilárdságú beton nagy érzékenysége miatt a szuper-folyósítószer mindenre kiterjedő alkalmassági vizsgálata nem engedhető el, amelyet erre akkreditált laboratórium kell nagy szakértelemmel végezzen.

Az alkalmassági vizsgálatnak az összeférhetőségre és a hatékonyságra is ki kell terjednie, ha nagy fagy- és olvasztósó-állóságú beton készítése céljából a folyósító adalékszert légbuborékképző adalékszerrel együtt alkalmazzák.

Az MSZ EN 934-2:2002 szerinti követelmények a folyósító adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított vízigény csökkenés, a referencia-betonhoz viszonyított konzisztencia változás és megtartás, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalom, a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdság 1 és 28 napos korban.

1. ábra: Adalékszerszivattyúk a Holcim Hungária Zrt. Kőbányai Betongyárában

Kötéskésleltető (kötéslassító) adalékszerek

(Németül: Verzögerer; angolul: Set retarding admixtures; franciául: Retardateurs de prise)

A kötéskésleltető szerek meghosszabbítják a beton bedolgozhatóságának idejét.

Főként foszfátokból és ezek sóiból, valamint szerves anyagokból, például oxikarbonsavak sóiból vagy glukonátokból készülnek. A kötéskésleltető szerek fajtájuktól függően akadályozzák a cement gyorsan reagáló komponenseinek, például az aluminátoknak az oldódását, vagy a víznek a cementre való hatását, úgyhogy a hidratáció késleltetve megy

végbe. A késleltetés magától a kötéskésleltető szertől és a cement kémiai összetételétől függ, de hatással van rá a friss beton és a környezet hőmérséklete is.

Amíg a foszfátbázisú kötéskésleltető szerek a kötés kezdetét és végét közel azonosan késleltetik, addig a szerves anyagok, különösen az oxikarbonsav és a glukonát bázisúak nem csak a kötés kezdetét, hanem oly módon változtatják meg a végét is, hogy a kötés kezdete és vége között eltelt idő tízszer is hosszabb lehet, mint kötéskésleltető szer adagolása nélkül. Vannak szerves kötéskésleltető szerek, amelyek a friss beton korai dermedését okozzák.

Kötéskésleltető szert alkalmaznak például tömegbetonok ❖ készítése során, nagyobb építmények esetén a munkahézagok ❖ kiiktatására, vagy ha a bedolgozott friss beton utólagos alakváltozásnak ❖ lesz kitéve (például a mintaív vagy zsaluzat megereszkedése), vagy nagy hőmérsékleten történő betonozáskor, vagy a transzportbeton ❖ mixerek hosszú szállítási, ill. várakozási ideje esetén.

Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány a kötéskésleltető adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított kötési időt, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalmat és a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdságot 7 és 28 napos korban írja elő követelményként.

Gyorsító adalékszerek

A gyorsító adalékszerek hatással vannak a cementhidratáció folyamatára, elősegítik a cementalkotók oltódását és a kristályképződést, és ezáltal gyorsítják a beton kötését és/vagy szilárdulását. A gyorsító hatás nagyobb cement őrlésfinomság és klinkertartalom, kisebb víz/cement tényező, nagyobb hőmérséklet esetén erőteljesebb. Ha a gyorsító adalékszernek képlékenyítő mellékhatása van, és ezért csökkentjük a vízadagolást, akkor a beton végszilárdsága növekszik. A gyorsító adalékszerek többsége általában növeli a zsugorodást.

A gyorsító adalékszerek gyakran alkálikusan ható sókból, például nátriumkarbonátból, alkálialuminátból készülnek. Ez esetben az adalékanyag alkáli érzékenységét vizsgálni kell. Az újabb fejlesztések a környezetbarát, alkáli-mentes kötésgyorsítószerek felé fordulnak. Kloridtartalmú gyorsító adalékszereket vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezetek készítéséhez felhasználni tilos, mert acélkorróziót okoznak.

a) Kötésgyorsító adalékszerek

(Németül: Erstarrungsbeschleuniger; angolul: Set accelerating admixtures; franciául: Accélérateurs de prise)

A kötésgyorsító szerek a beton képlékenyből szilárd állapotba való átmenetének kezdetét hozzák előbbre. A cement kötését és általában a beton korai szilárdságának kialakulását is gyorsítják, adott esetben kis hőmérsékleten is. Járulékos hatásként csökkenthetik a beton végszilárdságát. Kötésgyorsító adalékszerek alkalmazása esetén a betonkeverék bedolgozhatósága gyorsan romolhat. A friss betont kötésgyorsító szerrel csak mérsékelten lehet a káros fagyhatásoktól megvédeni. A gyors hidratációs hőfejlődés vastag falú betonszerkezetekben repedések keletkezését okozhatja.

Azok a kötésgyorsító szerek, amelyek a cement kötését néhány percre vagy másodpercre lecsökkentik, vízbetörések elfojtására, szivárgó vizek útjának elzárására, lőtt beton ❖ eljárásokhoz a visszahullás csökkentésére alkalmazhatók. A lőtt beton eljárásokhoz alkalmazható adalékszerekre jelenleg még csak a prEN 934-5 előszabvány határoz meg követelményeket.

A kötésgyorsítás a kötésgyorsító szer fajtájától és alkalmazott mennyiségétől, a cement kémiai összetételétől, továbbá a friss beton és a környezet hőmérsékletétől függ. A túladagolás gyorsítás helyett a kötést késleltetheti.

Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány a referencia-betonhoz viszonyított kötési idő kezdetét 20 °C és 5 °C hőmérsékleten, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalmat és a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdságot 28 és 90 napos korban írja elő követelményként.

b) Szilárdulásgyorsító adalékszerek

(Németül: Erhärtungsbeschleuniger; angolul: Hardening accelerating admixtures; franciául: Accélérateurs de durcissement)

A szilárdulásgyorsító szerek a beton kezdeti szilárdulásának ütemét gyorsítják a kötés idő változtatásával vagy anélkül. A beton végszilárdságát nem, vagy csak kismértékben csökkentik.

A szilárdulásgyorsító szerekkel a kizsaluzási idő csökkenthető mind a monolit szerkezetek készítése, mind az előregyártás során. Kis hőmérsékleten való betonozáskor a korai szilárdság növelésére, téli betonozáskor a beton fagyállóságának mielőbbi elérésére alkalmazhatók.

Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány a szilárdulásgyorsító adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalmat és a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdságot 20 °C hőmérsékleten 24 órás és 28 napos, valamint 5 °C hőmérsékleten 48 órás korban írja elő követelményként.

Légbuborékképző adalékszerek

(Németül: Luftporenbildner; angolul: Air entraining admixtures, franciául: Entraîneurs d'air)

A légbuborékképző szerek főként bizonyos gyanták vízoldható szappanaiból és szintetikus szerves anyagokból állnak.

A légbuborékképző adalékszerek mindenek előtt a beton fagy- és olvasztósó-állóságát növelik, ezért alkalmazásuk az XF2 – XF4 környezeti osztályokban ❖, főképp pályabetonok építése során nélkülözhetetlen. Valamelyest képlékenyítenek és csökkentik a vízigényt is. Légbuborék képző hatásuk a beton összetételétől, konzisztenciájától (víztartalmától), hőmérsékletétől, keverési módjától, a cement fajtájától, a légbuborékképző adalékszer hatékonyságától és mennyiségétől függ.

Különleges hatásuk abban áll, hogy a betonban igen nagyszámú, kisméretű (átmérőjük kisebb, mint 0,3 mm) ún. „hatékony" légbuborékot hoznak létre. A friss betonba légbuborékképző szerrel bevitt légbuborékok a megszilárdult betonban is megmaradnak. A beton megfagyásakor a kapillárisokból kiszorított víz egy részét felveszik, és a képződő jégkristály-nyomást levezetik. A kapillárisokban megfagyó víz kitágulásának teret adnak, a kapillárisok megszakításával csökkentik a vízfelszívást, ezáltal a beton jégkristály-nyomás okozta szétrepedezésének veszélye lecsökken. Hasonló jelenség játszódik le a kikristályosodó olvasztósó kristály-nyomásának semlegesítésekor is.

A képzett levegő mennyisége legalább 4 térfogat%. Az MSZ 4798-1:2004 szerint a légbuborékképzős *friss beton* ❖ összes levegőtartalmának ❖ előírt legkisebb értéke 4,0 térfogat%, megengedett legnagyobb értéke 8,0 térfogat%. A képzett légbuborékok távolsági tényezője ❖ (a legnagyobb elméleti távolság két szomszédos légbuborék pereme között) $\leq$ 0,2 mm legyen. A légbuborék rendszer jellemzőit az MSZ EN 480-11:2006 szerinti módszerrel kell meghatározni.

A betonban képzett légbuborékok általában csökkentik a beton szilárdságát, kivéve, ha a képlékenyítő hatást a víz/cement tényező csökkentésére használjuk. A légbuborékképző szer túladagolása a beton nyomószilárdságának jelentős csökkenését okozhatja. Szivattyús szállításkor a légbuborékos friss betonban lévő jelentős mennyiségű levegő összenyomódása folytán a betonszivattyú hatékony működése, a légbuborékos beton szivattyúzhatósága a szállítási távolságtól függő mértékben romlik.

A beton kémiai hatásokkal szembeni ellenállását légbuborékképző szerrel nem lehet növelni. A légbuborékos beton kúszása mindig nagyobb, mint a légbuborékképző szer nélkülié. Légbuborékképző szer és képlékenyítő- vagy folyósító szer együttes alkalmazása során hatás-vizsgálattal meg kell győződni arról, hogy a légbuborékképzés a képlékenyítő- vagy folyósító szerben lévő habzásgátló ellenére szavatolható.

Alkalmazása elsősorban útpályaszerkezetek esetén elengedhetetlen, magas- és mélyépítési betonok fagyállósága légbuborékképző szer nélkül is megoldható.

Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány a légbuborékképző adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalmat, távolsági tényezőt a megszilárdult betonban és a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdságot 28 napos korban írja elő követelményként.

Tömítő (vízzáróságfokozó) adalékszerek

(Németül: Dichtungsmittel; angolul: Water resisting admixtures; franciául: Hydrofuges de masse)

A tömítő szerek csökkentik a beton vízfelvételét és a víz betonba való behatolásának mélységét. A szilikáttartalmú tömítő szerek reakcióba lépnek a cement hidratációs termékeivel, aminek hatására kapillárporozitást csökkentő hidro-szilikátok keletkeznek. Ennek ellenére víznyomás hatására vízfelvétellel kell számolni. Alkalmazásuk feltétele, hogy a beton eleve vízzáró és kis vízfelvételű betonnak készüljön. Tömítő szerrel nem lehet a rossz összetételű és rosszul tömörített betont vízzáróvá tenni. A tömítő szerek növelhetik a beton levegőtartalmát, ezáltal csökkenthetik a betonszilárdságot, és növelhetik a zsugorodást. A tömítő szereket a mélyépítésben, a vízépítésben, és tartályok építése során szokás alkalmazni.

Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány a tömítő adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított kapilláris vízfelszívást 7 napos utókezelést követően 7 napig és 90 napos utókezelést követően 28 napig vizsgálva, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalmat és a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdságot 28 napos korban írja elő követelményként.

Stabilizáló adalékszerek

(Németül: Stabilisierer; angolul: Water retaining admixtures; franciául: Rétenteurs d'eau)

A stabilizáló szerek diszpergáló hatású polimerek és megfelelő katalizátorok. A modifikálástól függően a stabilizáló szerek valamelyest képlékenyítenek is.

A beton a stabilizáló szer hatására kissé szívósabb és ragadósabb, de valamivel alakíthatóbb is lesz. Nagyobb adagolás és földnedvesebb konzisztencia esetén előnytelenül nagy ragadósság léphet fel.

A stabilizáló szereket elsősorban a vízkiválás (kivérzés) csökkentésére adagolják a betonhoz, például kedvezőtlen adalékanyag szemmegoszlás esetén, könnyűbetonoknál a durva könnyűadalékanyag szemek felúszása ellen, vagy a szivattyúzott beton jobb

összetartóképessége érdekében. A stabilizálószer a lőtt beton ❖, a víz alatti betonozás ❖ és az öntömörödő beton ❖ adalékszere.

A betonadalékszerek szerves hatóanyagait a mikroorganizmusok megtámadhatják és lebonthatják, amiért az adalékszereket eltarthatóságuk érdekében csekély mennyiségű illó tartósítószerrel, leggyakrabban formaldehiddel és vegyületeivel (például melamin-szulfonátok vagy naftalin-szulfonátok esetén), fenolos vegyületekkel, izotiazol vegyületekkel stabilizálni szokták.

Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány a stabilizáló adalékszerekre a referencia-betonhoz viszonyított vízkiválást, a referencia-betonhoz viszonyított friss beton levegőtartalmat és a referencia-betonhoz viszonyított nyomószilárdságot 28 napos korban írja elő követelményként.

Injektáláshoz való adalékszerek

(Németül: Zusatzmittel für Einpressmörtel; angolul: Admixtures for grout; franciául: Adjuvants pour coulis)

Az injektáláshoz való adalékszerek képlékennyé teszik az injektáló anyagot, csökkentik a vízkiválást.

Hatóanyaga többnyire hidrogéngáz fejlesztő alumíniumpor. A gázképzőhatás csökkenő hőmérséklet mellett visszaesik, és függvénye a cement kémiai összetételének és korának is.

Az injektáláshoz való adalékszereket általában a cementpép vagy cementhabarcs feszítőacél-csatornákba való sajtolásához, vagy egyéb üregek, repedések kitöltéséhez alkalmazzák. A fejlődő gáz a friss cementpépet, ill. cementhabarcsot megkeleszti, ezáltal az a feszítőacél és a csatorna közötti hézagot kitölti, és az injektáló anyag zsugorodása ellen hat.

Az MSZ EN 934-4:2006 szabvány az injektáláshoz való adalékszerekre a folyási képességet, a nyomószilárdságot 28 napos korban, a vízkiválást 3 órás korban és a térfogatváltozást 24 órás korban írja elő követelményként.

2. ábra: Adalékszertároló konténerek a Holcim Hungária Zrt. Kőbányai Betongyárában

Adalékszerek lőttbetonhoz

(Németül: Zusatzmittel für Spritzbeton; angolul: Admixtures for sprayed concrete; franciául: Adjuvants pour bétons projetés)

A lőttbeton adalékszerek tulajdonságaival és követelményeivel az MSZ EN 934-5:2008 szabvány foglalkozik. A lőttbeton adalékszerek fajtái a következők: kötésgyorsító és alkálimentes kötésgyorsító adalékszerek, konzisztencia szabályozó adalékszerek, tapadást javító adalékszerek. Az adalékszereket a lövés előtt vagy közben adják hozzá a betonhoz a cement tömegére vetített legfeljebb 5 tömeg%-ban, kivéve a lőtt betonhoz való kötésgyorsító adalékszereket, amelyek adagolása legfeljebb 12 tömeg%.

A lőttbeton kötésgyorsító szerek a lőtt beton nagyon korai kötését gyorsítják, és azokat meg kell különböztetni az MSZ EN 934-2 szabvány szerinti kötésgyorsító adalékszerektől. Az alkálimentes kötésgyorsító adalékszerek nátrium-oxid egyenértékben kifejezett alkáli tartalma legfeljebb 1,0 tömeg% lehet. A lőttbeton konzisztenciáját szabályozó adalékszereket kifejezetten a lőttbetonok céljára fejlesztették ki, és azok eltérnek az MSZ EN 934-2 szabvány szerinti folyósítószerektől: 6 órával az adalékszer hozzáadását követően a konzisztencia mérőszám a kezdeti értéknek legalább 80 %-a legyen. A tapadást javító adalékszer megfelelőségét a betonrétegek 28 napos tapadószilárdsága és a beton 28 napos nyomószilárdsága alapján kell megítélni.

A lőttbeton adalékszerek tulajdonságai és alkalmazása tekintetében is figyelemre méltó az EFNARC (European Federation of Producers and Contractors of Specialist Products for Structures) lőttbeton irányelve.

Felhasznált irodalom

MSZ EN 480-11:2006 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása

MSZ EN 934-2:2002 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés

MSZ EN 934-4:2006 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 4. rész: Adalékszerek feszítőkábelek injektálóhabarcsához. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés

MSZ EN 934-5:2008 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 5. rész: Adalékszerek lőtt betonhoz. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés

MSZ EN 934-6:2002 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 6. rész: Mintavétel, megfelelőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon

Buday Tibor: Betonadalékszerek. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1999.

Schwenk Zement KG.: Betontechnische Daten. Ulm, 2006.

Europäische Richtlinie für Spritzbeton. Deutsche Übersetzung der EFNARC Richtlinie, 1997 (Az európai lőttbeton irányelv német fordítása)

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata két részben jelent meg a	BETON szakmai havilap	2007. július-augusztus havi számának 22-24. oldalán és 2007. szeptember havi számának 11-13. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

	Kötőanyagok 2. Gyengén hidraulikus kötőanyagok: Hidraulikus mész, románcement (római cement, románmész), kőművescement, mészpuccolán	

Németül:	Hidraulikus mész:	Hydraulischer Kalk
	Románcement:	Romanzement, römischer Zement, Romankalk, römischer Beton
	Kőművescement:	Putz- und Mauerbinder
	Mészpuccolán:	Trasskalk
Angolul:	Hidraulikus mész:	Hydraulic lime
	Románcement:	Natural cement
	Kőművescement:	Masonry cement
	Mészpuccolán:	Lime-trass mixes
Franciául:	Hidraulikus mész:	Chaux hydraulique
	Románcement:	Ciment romain
	Kőművescement:	Ciment de maçonnerie
	Mészpuccolán:	Trass-chaux

A *természetes eredetű* gyengén hidraulikus kötőanyagokat az emberiség a római korból ismeri. Általában falazó- és vakolóhabarcsok kötőanyagaként alkalmazhatók. A természetes eredetű gyengén hidraulikus kötőanyagok a mész ❖ és a cement ❖ között képeznek átmenetet. Levegőn és víz alatt is szilárdulnak. (Vannak mesterséges eredetű gyengén hidraulikus kötőanyagok is, például a kohósalak, a pernye, a szilikapor.)

Megjegyzés: A megnevezésekben nem mindig szerepeltetik a „gyengén” jelzőt.

Hidraulikus mész

A hidraulikus mész átmenetet képez az égetett mész ❖ és a románcement között. A hidraulikus meszet 8-10 tömeg% agyagtartalmú márgás mészkőből vagy 10-20 tömeg% agyagtartalmú mészmárgából zsugorodási hőmérséklet alatt, kb. 900 °C hőmérsékleten égetik. Az égetés során vízmentes kalcium-szilikát és kalcium-aluminát vegyületek is keletkeznek, és ezek teszik a terméket gyengébb vagy erősebb mértékben hidraulikussá. A hidraulikus mész vízzel oltódik, az oltódás azonban lassú. Szilárdulásához a levegő szén-dioxidja is hozzájárul.

A mesterséges hidraulikus mész újkori feltalálása *Louis Vicat* (1786-1861) nevéhez fűződik, aki azt – az általa újra feltalált összetételű románcementtel együtt – először alkalmazta Dordogne folyó feletti “Pont Angoulęme” nevű híd felépítése (1812 – 1824) során (*1. ábra*).

1840-ig a hidraulikus mész volt a hazai építkezések egyik legfontosabb kötőanyaga. Hazai termék volt például a beocsini (egykori Szerém vármegye) természetes hidraulikus mész, import termék volt többek között a kufsteini, sagorei természetes hidraulikus mész, ill. oltott mészpor. Hazánk mai területén tudomásunk szerint hidraulikus mész előállítására alkalmas természetes nyersanyag nincs.

A természetes és mesterséges hidraulikus mész tulajdonságait az MSZ EN 459-1:2002 szabvány tárgyalja, amely az MSZ 108-1:1992 termékszabványt váltotta fel. Az MSZ EN 459-1:2002 szerinti gyengén hidraulikus kötőanyagok, ill. építési meszek vizsgálatát az MSZ EN 459-2:2002 szabvány szerint kell végezni. A mész-féleségtől függően a kötési időt ❖, az alkotórészek mennyiségét ❖, a friss habarcs levegőtartalmát és vízmegtartóképességét ❖, süllyedésméréssel a konzisztenciát ❖, a térfogat-állandóságot ❖, a halmazsűrűséget ❖, a szaporaságot ❖, a reakcióképességet ❖, a szabadvíz-tartalmat ❖, az őrlésfinomságot ❖, a tartósságot ❖, a nyomószilárdságot ❖ kell meghatározni. A nyomószilárdság vizsgálat néhány eltéréstől eltekintve lényegében azonos az MSZ EN 196-1:2005 szerinti

cementszilárdság vizsgálattal, amelyet 40·40·160 mm méretű habarcs próbahasábokon kell végrehajtani.

Az MSZ EN 459-1:2002 szabvány szerint az NHL 2 jelű természetes és a HL 2 jelű mesterséges hidraulikus mész 28 napos nyomószilárdsága az MSZ EN 459-2:2002 szabvány szerint vizsgálva 2 – 7 N/mm^2, az NHL 3,5 és HL 3,5 jelűé 3,5 – 10 N/mm^2, az NHL 5 és HL 5 jelűé 5 – 15 N/mm^2, az utóbbi 7 napos nyomószilárdsága legalább 2 N/mm^2. A hidraulikus meszek kötési idejének kezdete legalább 1 óra, vége legfeljebb 15 óra. Porrá oltott állapotban, vagy oltatlanul porrá őrölve hozzák forgalomba.

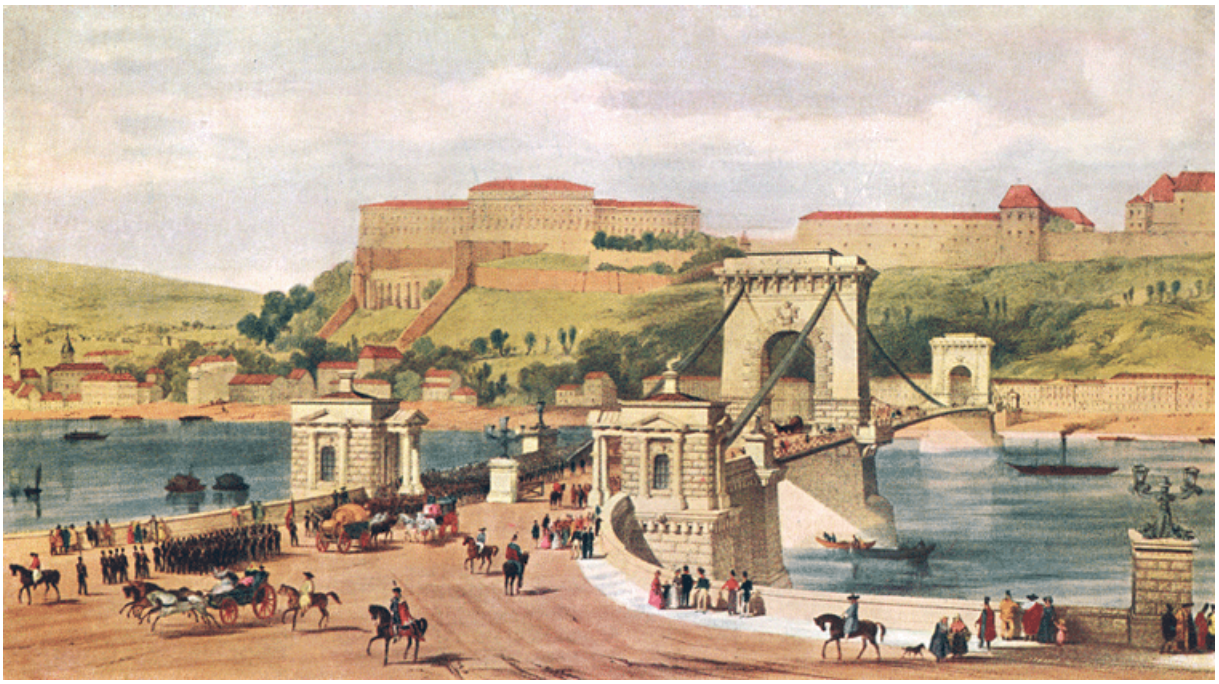
1. ábra: *Louis-Joseph Vicat* hídja a Dordogne folyó felett, Souillac határában, Franciaországban

Románcement (románmész)

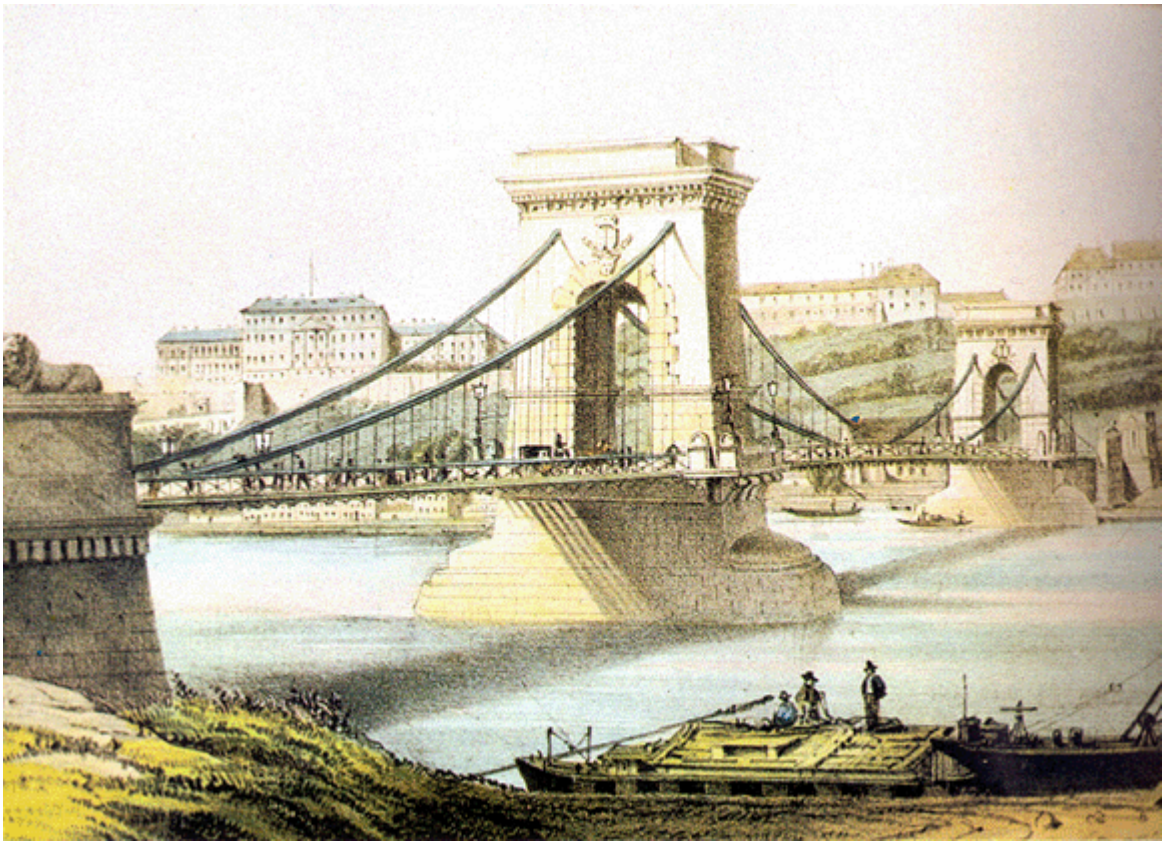
A románcementet 20 tömeg%-nál nagyobb agyagtartalmú márgából zsugorodást el nem érő hőmérsékleten (kb. 900 °C) égették. Porrá őrölve és vízzel keverve gyorsan köt és víz alatt is szilárdult. *Smeaton, J.* angol mérnök volt az első, aki 1756-ban tapasztalta, hogy az agyagot és homokot tartalmazó mészkövek égetés után vízben megkeményedő meszet adnak; de csak *Parkernek* sikerült 1796-ban ilyen meszet nagyobb mennyiségben gyártani, melyet római cementnek vagy románcementnek nevezett.

Hazánk gazdag a románcement gyártására alkalmas mészmárgában (Gerecse-hegységben Bersek, Budán a József-hegy és Újlak, a régi Magyarország területén Beocsin stb.). *William Tierney Clark* leírja, hogy az 1840-es években a Lánchíd alapjaihoz beocsini mészkőből periodikus lángtüzelésű aknakemencében égettek és golyósmalomban őröltek románcementet a Magyar Tudományos Akadémia mai épületének telkén, miután kísérletekkel meggyőződtek annak alkalmazhatóságáról (*2. – 3. ábra*). *Mihálik János* a Ferencz József zsilip (máshol Ferenc József-zsilip) építéséhez égette a helyszínen a románcementet kamenicai márgából (1854). A Lábatlani Cementgyárat 1869 évben románcement gyártásra alapították, és egészen 1900-ig ez volt az uralkodó termék, akárcsak az ugyancsak 1869-ben alapított beocsini románcement és hidraulikus mész gyárban (a Dunától 3 km-re, Újvidéktől 14 km-re),

amelyekben a századforduló idején a termelés felét még románcement, másik felét már portlandcement tette ki.



2. ábra: Széchenyi-Lánchíd (View of the Suspension bridge, now erecting over the River Danube at Pest in Hungary.) *G. Hawkins* színezett lithográfiája, 1839, méret: 268·480 mm.
A Lánchíd ezen a képen kapott először népszerűsítő és művészi bemutatást:
Előterében katonák masíroznak, lovashintók, lovas katonák, sétáló hölgyek és urak.
Hátterében a Rácz-város, a királyi palota, a katonai szertár és a Sándor palota.
A litográfia 1839-es bibliográfiai évszáma azért elgondolkoztató,
mert a Lánchidat 1848-ban adták át a forgalomnak



3. ábra: A Lánchíd 1852-ben. *Franz Josef Sandmann* litográfiája *Rudolf Alt* rajza nyomán.
A négy kőoroszlán *Marschalkó János* szobrászművész (1819-1877) alkotása (1852).

Kőművescement

A kőművescement összetételét, a követelményeket és megfelelőségi feltételeket az MSZ EN 413-1:2004 szabvány szabályozza. Fő összetevőinek egyike általában a hidraulikus mész. Az MSZ EN 413-1:2004 szabvány szerint az MC 5 jelű kőművescement portlandcementklinker tartalma legalább 25 tömeg%, az MC 12,5, MC 12,5 X és MC 22,5 X jelű kőművescementé legalább 40 tömeg%. Tulajdonságai az őrlésfinomság, a kötési idő, a térfogat-állandóság, a friss habarcs levegőtartalma és vízmegtartóképessége, a szulfát- és kloridion-tartalom, a tartósság, a vízoldható króm (VI) tartalom, a nyomószilárdság. A nyomószilárdság vizsgálat néhány kisebb eltéréstől eltekintve azonos az MSZ EN 196-1:2005 szerinti cementszilárdság vizsgálattal, amelyet 40·40·160 mm méretű habarcs próbahasábokkal kell elvégezni.

Az MSZ EN 413-1:2004 szabvány szerint az MC 5 jelű kőművescement 28 napos nyomószilárdsága az MSZ EN 413-2:2005 szabvány szerint vizsgálva 5 – 15 N/mm^2, az MC 12,5 és MC 12,5 X jelűé 12,5 – 32,5 N/mm^2, az MC 22,5 X jelűé 22,5 – 42,5 N/mm^2. Az MC 12,5 és MC 12,5 X jelű kőművescement 7 napos nyomószilárdsága legalább 7 N/mm^2, az MC 22,5 X jelűé 10 N/mm^2. A kőművescement kötési idejének kezdete legalább 1 óra. Ha a kötési idő kezdete kevesebb mint 6 óra, akkor a kötési idő vége nincs előírva; ha a kötési idő kezdete több mint 6 óra, akkor a vége legfeljebb 15 óra.

A kőművescement vízzel és homokkal (adalékszer nélkül) összekeverve falazó- és vakolóhabarcsot ad.

Mészpuccolán

Mészpuccolán porrá oltott fehérmész vagy őrölt égetett mész és természetes savanyú hidraulikus kiegészítőanyag (riolittufa, trasz, kovaföld, habkő, stb.) ❖ keveréke. Kalciumoxid-tartalma 20 – 40 tömeg%, trasztartalma 30 – 60 tömeg%. A mészpuccolánt vagy az alapanyagok együttes őrlésével, vagy külön őrléssel és utólagos keveréssel állították elő. Cementvizsgálati módszerrel meghatározva, a ma már érvénytelen MSZ 4716:1954 termékszabvány szerint a nyomószilárdsága legalább 10 – 15 N/mm^2. Magyarországon az 1950-es években hat éven át gyártották.

Felhasznált irodalom

MSZ 108-1:1992	Mész és mésztermékek. Általános előírások
MSZ 4716:1954	Mészpuccolán. Hidraulikus kiegészítőanyag
MSZ EN 196-1:2005	Cementvizsgálati módszerek. 1. rész: A szilárdság meghatározása
MSZ EN 413-1:2004	Kőművescement. 1. rész: Összetétel, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 413-2:2005	Kőművescement. 2. rész: Vizsgálati módszerek
MSZ EN 459-1:2002	Építési mész. 1. rész: Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 459-2:2002	Építési mész. 2. rész: Vizsgálati módszerek
Bereczky Endre – Reichard Ernő:	A magyar cementipar története. SZIKKTI – CEMŰ – Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1970.
Pallas Nagy lexikona	Pallas Irodalmi és Nyomdai Részvénytársaság. Budapest, 1897
Riesz Lajos:	Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.
Gróf Széchenyi István minden írása	Logod Bt. 2001., CD

http://www.souillac.net/deutsch/index.html

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2007. október havi számának 10-11. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

BETON

IX. évf. 7-8. szám szakmai havilap 2001. július-augusztus

2001. július-augusztus BETON IX. évf. 7-8. szám

Fogalom-tár

Változó világunk a magyar beton- és vasbetonipart és annak művelőit nap, mint nap komoly kihívások elé állítja. Új anyagokkal, új technológiákkal és ezzel összefüggésben egyre több új fogalommal kell megismerkednünk. Az is előfordul: korábbi fogalmainkat új megvilágításba kell, hogy helyezzük. Lapunk fő célkitűzése, hogy segítse a betonnal foglalkozókat napi munkájukban, és közvetítse feléjük - Önök felé – a szakma legújabb eredményei mellett mindazt a gyakorlati tudnivalót, amely a jó minőségű, tartós beton előállításához szükséges. Ezzel összefüggésben indított állandó rovatunkat (Rovatvezető: Dr. Kausay Tibor) fórumnak is szánjuk. Itt kívánjuk az új – régi fogalmakat definiálni, illetve megmagyarázni azok pontos jelentését. Lehetővé kívánjuk tenni, hogy mindenki, aki érdeklődik a téma iránt, elmondhassa véleményét, kifejthesse álláspontját. Várom hozzászólásaikat!

Asztalos István
asztalos_i@elender.hu

Fogalmak tartalomjegyzéke

Fogalom **A szócikkek elolvasásához szíveskedjék az alábbi címekre kattintani.**	**Megjelenés ideje a “Beton” szakmai havilapban**
Adalékanyag	2003. október
Adalékszerek, betonadalékszerek	2007. július-augusztus, szeptember
Alkálifém-oxid reakció	2001. július-augusztus
Bauxitbeton	2008. szeptember
Bontott, újrahasznosított adalékanyag	2004. április
Cement gyártása. Kötõanyagok 3.	2007. december
Cement hidratációja. Kötõanyagok 5.	2008. március
Cement. Klinkerásványok. Kötõanyagok 4.	2008. január
Elgõzölhetõ és el nem gõzölhetõ víz	2002. május

Fajlagos felület	2001. szeptember
Finomsági modulus és Hummel-féle terület	2004. július-augusztus
Gázbeton, pórusbeton	2002. július-augusztus
Gyengén hidraulikus kötõanyagok: Hidraulikus mész, románcement (római cement, románmész), kõmûvescement, mészpuccolán. Kötõanyagok 2.	2007. október
Habbeton, habcement	2003. január
Harmonizált európai szabvány	2003. február
Homokos kavics, homok, kavics	2003. december
Ismétlési és összehasonlítási feltételek	2003. szeptember
Konzisztencia, beton konzisztencia	2003. március
Könnyû-adalékanyag	2002. november
Könnyû-adalékanyagos, nagy-hézagtérfogatú beton	2002. szeptember
Könnyûbeton	2002. október
Legnagyobb szemnagyság	2004. december
Levegõn szilárduló szervetlen kötõanyagok. Kötõanyagok 1.	2005. szeptember
Levegõtartalom, légtartalom	2008. június
Légbuboréktartalom, távolsági tényezõ	2008. november - december
Nagyszilárdságú beton	2009. szeptember
Õrlési finomság	2001. július-augusztus
Pórusszerkezet	2002. április
Roskadási mérték	2003. április
Sejtszerkezet, sejtbeton	2002. június
Sûrûség és fajsúly	2001. október
Szemalak	2005. május

Szemmegoszlás	2004. május
Szemmegoszlás tervezés, javítás	2004. november
Szemmegoszlási jellemzõk	2005. február
Szilikapor, mikroszilika szuszpenzió	2009. május
Szövetszerkezet, szilárd test, szilárd anyag	2001. december
Terülési mérték	2003. május
Tömörítési mérték, tömörödési tényezõ	2003. július-augusztus
Tömörség és porozitás	2002. január
VEBE - méteres átformálási idõ	2003. június
Víz-cement tényezõ, víz/cement tényezõ	2008. április
Víztartalom, vízfelvétel, látszólagos porozitás, vízfelszívás	2002. február
Zúzottkõ	2004. január

	Kötőanyagok III. Hidraulikus kötőanyagok: **Cement 1.**	

Németül:	Hydraulische Bindemittel: Zement
Angolul:	Hydraulic binding materials: Cement
Franciául:	Liants hydraulique: Ciment

A cement finomra őrölt szervetlen, hidraulikus kötőanyag, amely vízzel összekeverve pépet alkot, és hidratációs folyamatok eredményeképpen levegőn vagy víz alatt megköt és megszilárdul, a szilárdulás után víz alatt is megtartja a szilárdságát és stabilitását. A cement vízzel ❖ és adalékanyaggal ❖, esetleg adalékszerrel ❖ és kiegészítőanyaggal ❖ megfelelő arányban összekeverve bizonyos ideig bedolgozható, és meghatározott időtartam után előírt szilárdságú és tartósan térfogatálló betont ❖ vagy habarcsot ❖ képez (MSZ EN 197-1:2000).

Az MSZ EN 197-1:2000 szerinti cement jele CEM, és általános felhasználású cementnek (németül: Normalzement; angolul: common cement; franciául: ciment courant) is nevezik, de nevezhetnénk közönséges cementnek vagy normálcementnek is. A CEM jelű cement hidraulikus szilárdulását elsősorban a kalcium-szilikátok ❖ hidratációja ❖ okozza, – tehát ún. *szilikátcement* –, de a szilárdulási folyamatban egyéb klinkerásványoknak ❖ (pl. aluminátoknak) is szerepük lehet. A CEM cementben a reakcióképes kalcium-oxid (CaO) és a reakcióképes szilícium-dioxid (SiO_2) mennyiségének összege legalább 50 tömeg%.

Cementgyártás története

A cementkutatás és gyártás előfutárának *John Smeaton* angol mérnököt (1756) tekintik, aki az eddystonei (sziklás szigetcsoport, zátony a La Manche-csatornában, a plymouthi kikötő bejáratánál) világítótorony építéséhez állított elő hidraulikus meszet {❖ (Kötőanyagok I.)}, miután *Marcus Vitruvius Pollio* (Kr. e. 1. század második fele) római építész és hadimérnök „De architectura” című, tíz kötetes építészeti tanulmánykötetéből merített ötletet. A cement elnevezés a latin „caedere” (természetes kőzet), „caementa” (természetes kőből épült fal), ill. „caementum” (terméskő, megmunkált építőkő) szóból ered. A *cement* szót a kenti grófság tengerpartjának márgáiból románcementet előállító angol *James Parker (1796)*, a *portlandcement* jelzőt a mai értelemben vett cement feltalálójának tartott *Joseph Aspdin* leedsi (Yorkshire, Anglia) kőművesmester vezette be. *Joseph Aspdin* az 1824-ben szabadalmaztatott kötőanyagnak azért adta a portlandcement elnevezést, mert a cement színe és szilárdsága hasonlított a *Portland* környékén (város a Portland-fokon, La Manche-csatorna, Anglia) található mészkő szürke színéhez és szilárdságához (*1. ábra*).

Magyarországon portlandcementet az 1870-es években kezdtek gyártani, az addig románcementet ❖ előállító mogyoróskai (Sáros vármegye), beocsini (Szerém vármegye) és lábatlani cementgyárban. Hazánkban a portlandcement gyártása 1900-ban érte el a románcement gyártásának mennyiségét. Az ipar rohamosan fejlődött, cementgyáraink építésének kezdeti korszaka lényegében az első világháborúval lezárult. A forgókemence jelentette a XX. század legelején a mai értelemben vett portlandcementgyártás kezdetét. A fejlődést a speciális igények kielégítése, a fehér cement (1930), a szulfátálló cement (1937), a heterogén cement (1952), a nagy kezdőszilárdságú (alit) cement (1951) és más, kis mennyiségben igényelt különleges cementek gyártásának bevezetése, az energiatakarékosság (száraz őrlésű nyersliszt), a zsákolt helyett az ömlesztve szállított cement megjelenése, és a programvezérlésű gyártás jelentette.

Mai értelemben *a portlandcement a szilikátcementek azon fajtája*, amelyek portlandcementklinker-tartalma adott határértéket elér. Ez a határérték az MSZ EN 197-1:2000 szabvány szerint általában 65 tömeg% (CEM I és CEM II jelű cementfajták). A portlandcementklinker ❖ elsősorban kalcium-szilikátokból épül fel, és zsugorodási hőmérsékleten (1400 – 1500 °C) égetett féltermék. A portlandcement típusú cementek a zsugorított vagy olvasztott hidraulikus kötőanyagok csoportjába tartoznak, szemben a gyengén hidraulikus kötőanyagokkal ❖, amelyek alapanyagát zsugorodási hőmérséklet (1100 – 1200 °C) alatt égetik. Az *aluminátcementet* is zsugorodási hőmérsékleten égetik, de az aluminátcementklinker alumínium-oxidban dús klinkerásványokból áll, és szilárdulását elsősorban a kalcium-aluminátok hidratációja okozza.

Magyarországon a következő cementgyárak működtek: Beocsin (Vajdaság, 1869 – ma is működik), Nyergesújfalu (1870 körül – 1925), Mogyoróska (mai nevén Škrapské, 1867-1910), Óbuda-Újlak (1880-1929), Gurahonc (Arad vármegye, 1885 körül – nincs adat), Lédec (Trencsén vármegye, 1889-1916), Oravica (Krassó-Szörény vármegye 1893-1905), Brassó (1900 körül – 2000 körül), Zsolna (1900 – nincs adat), Selyp (1907-1983), Bélapátfalva (1908-2000), Podšused (egykor Szomszédváralja, ma Zágráb része, 1908 – nincs adat), Felsőgalla (Tatabánya, 1911-1984), Torda (1914 – ma is működik).

Ma is működő cementgyáraink: Lábatlan (alapítás éve: 1868), Beremend (alapítás éve: 1910), Hejőcsaba (alapítás éve: 1952), Vác (alapítás éve: 1963). Nyergesújfalun új cementgyárat terveznek építeni, amelynek üzembe helyezésével egyidejűleg, várhatóan 2010-ben, a lábatlani cementgyárat bezárják.

Magyarország a trianoni békekötés előtt évi mintegy 1,14 millió tonna cementgyártási kapacitással rendelkezett, de a tényleges termelés nem haladta meg az évi 0,6 millió tonnát. Trianon után a csonka országban megmaradt hét gyár (Felsőgalla, Lábatlan, Nyergesújfalu, Beremend, Bélapátfalva, Újlak és Selyp) kapacitása évi mintegy 0,65 millió tonna, a tényleges cementfogyasztás ennek csak alig negyede (kb. évi 0,15 millió tonna) volt. Hazánkban 1934-ben kb. 0,2 millió tonna, 1943-ban kb. 0,6 millió tonna, 1947-ben kb. 0,2 millió tonna, 1949-ben kb. 0,55 millió tonna, 1962-ben kb. 1,75 millió tonna, 1975-ben kb. 5 millió tonna cementet állítottak elő. 2006-ban a hazai cementfelhasználás mintegy 4,1 millió tonna, cementgyáraink termelési kapacitása mintegy 3,6 millió tonna volt, a kapacitás 2010-re várhatóan meghaladja az 5 millió tonnát.

Cementgyártás

A mai cementek összetételét tudatosan állítják össze, szemben az egykori románcementekkel, amelyek összetétele a márga természet adta összetételétől függött. A cementet mészkő és agyag hozzávetőlegesen 2:1 arányú keverékéből, esetleg az ezeket hordozó márga felhasználásával gyártják. Az agyagot a megtört mészkőhöz vagy márgához adagolják.

Ezt a kiindulási, *nyers keveréket* kiszárítják és malomba megőrlik. Így kapják a száraz *nyerslisztet*, amelyhez szükség szerint összetételt korrigáló anyagokat (pl. piritpörk, homok) adnak. A jól összekevert, korrigált összetételű nyersliszt silóba kerül. Az őrlés során keletkező poros levegőt elszívják, és elektro-filterben portalanítják. A módszert, amelynek alkalmazása során a nyers keveréket szárazon őrlik nyerslisztté, és a nyersliszt por alakban kerül a hőcserélőbe, majd a forgókemencébe, *száraz eljárásnak* nevezik. A korszerű cementgyárak száraz eljárással működnek.

Az ún. *nedves eljárásnál* a nyers keveréket vízzel összekeverik, nedvesen őrlik, és az így keletkező *nyersiszapot* – amely általában 30-40% vizet tartalmaz – közvetlenül adják fel a

forgókemencére. Magyarországon már csak egy régi, bezárásra ítélt kis cementgyár (Lábatlan) dolgozik nedves eljárással.

Cementgyártási sajátosság, hogy a korszerű, száraz eljárással gyártott cementek alkáli-fémtartalma nagyobb, mint a nedves eljárással gyártott cementeké volt. Ennek az *adalékanyagok alkálifém-oxid reakciója* (egyszerűbben alkáli reakciója) kialakulásának kockázata miatt van jelentősége, amelynek esélye a cementgyártási technológiaváltás folytán az utóbbi időben megnőtt.

A száraz eljárás során égetésre előkészített nyerslisztet a silóból 800-900 °C hőmérsékletű hőcserélőbe vezetik, ahol CO_2 tartalmát elveszti, gyakorlatilag kiég. Ez a kiégetett nyersliszt forgókemencébe kerül, amelyben forgómozgással, enyhén ferde pályán lassan halad a tűz irányába, és tovább hevül. Mintegy 1200 °C (szinterelési, zsugorítási) hőmérsékleten az anyag zsugorodik és képlékeny, folyós konzisztenciájúvá válik. A lejtős pályán a forgás hatására az anyag golyókká áll össze, granulálódik. A *klinkergranulátumot* 1450 °C hőmérséklet elérése után vezetik ki a forgókemencéből, gyorsan lehűtik, majd klinkertárolóba helyezik.

A forgókemence égéstermékeit megtisztítják, majd a hőcserélőhöz visszavezetik. A klinker – a cementtel ellentétben – hosszabb ideig tárolható károsodás nélkül, ezért téli időszakban – számítva a nyári nagyobb felhasználásra – tartalékok képezhetők belőle.

A lehűlt klinkert kismennyiségű *gipsszel* vagy ún. REA-gipsszel {❖ Levegőn szilárduló szervetlen kötőanyagok} és olykor nagymennyiségű *kiegészítő anyaggal*, mint pl. kohósalakkal, pernyével, mészkőliszttel együtt golyós- vagy görgősmalomban megőrlik (*2. ábra*). A gipsszel (vagy REA-gipsszel) a cement kötési idejét ❖ állítják be.

A kiegészítő anyagok a klinkerrel együtt a cement *főalkotórészei*, a gipsz *mellékalkotórésze*. Az *őrlést segítő anyagok* és az őrlésfinomság a cement tulajdonságainak kialakításában játszanak, ill. játszik szerepet.

A cement alapanyaga a cementklinker. A cementklinker mészkő és agyagtartalmú anyagokból állítható elő, ha azokat megfelelő összekeverés és finomra őrlés után 1450 °C-on zsugorodásig égetik. A cement zsákokba csomagolva, vagy ömlesztve jut el a felhasználóhoz.

1. ábra: La Manche-csatorna angliai partja

2. ábra: Cementmalom a Duna-Dráva Cement Kft. Váci Gyárában

Felhasznált irodalom

MSZ EN 197-1:2000	Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosították MSZ EN 197-1:2000/A1:2004 szám alatt
Bereczky Endre – Reichard Ernő:	A magyar cementipar története. SZIKKTI – CEMŰ – Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1970.
Dolezsai Károly – Pauka Imre:	Cementgyártás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1964.
Riesz Lajos:	Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.
Talabér József (szerk.):	Cementipari Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2007. december havi számának 18-19. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

	Kötőanyagok IV. Hidraulikus kötőanyagok: Cement 2. **Klinkerásványok**	

Németül:	Hydraulischese Bindemittel: Zement, Klinker
Angolul:	Hydraulic binding materials: Cement, clinker
Franciául:	Liants hydraulique: Ciment, clinker

Klinker oxidos összetételének modulusai

A klinker összetételének túlnyomó többségét négy oxid teszi ki: CaO (röviden: C), SiO_2 (röviden: S), Al_2O_3 (röviden: A), Fe_2O_3 (röviden: F), kisebb jelentőségű a Na_2O, K_2O, MgO, SO_3. A klinker tulajdonságait az oxidok aránya szabja meg, amelyet modulusokkal szokás kifejezni. Követelmény, hogy a modulusok értéke adott határok között legyen. Portlandcementklinker esetén három modulus használatos, amelyekben a c·(X) jelölés az X oxid tömegszázalékban kifejezett mennyiségét jelenti:

Szilikátmodulus: $SM = c\cdot S/(c\cdot A + c\cdot F)$, határértékei: $1,8 < SM < 2,8$

Aluminátmodulus: $AM = c\cdot A/c\cdot F$, határértékei: $0,5 < AM < 2,5$

Mésztelítettség,

ha az $AM > 0,64$,
akkor $TT = (c\cdot C - c\cdot(\text{szabad CaO}) – 1,65\cdot c\cdot A – 0,35\cdot c\cdot F – 0,7\cdot c\cdot(SO_3))/2,8\ c\cdot S$

ha az $AM < 0,64$,
akkor $TT = (c\cdot C - c\cdot(\text{szabad CaO}) – 1,1\cdot c\cdot A – 0,7\cdot c\cdot F – 0,7\cdot c\cdot(SO_3))/2,8\ c\cdot S$

A mésztelítettség határértékei: $0,85 < TT < 0,95$

A szilikátmodulus növekedésével a cementszilárdság nő. Az aluminátmodulus növekedésével a cement stabilabb lesz, de szulfátállósága csökken. A szulfátálló cementek AM értéke mintegy 0,64, a mérsékelten szulfátálló cementeké mintegy 1,0. Minél nagyobb a mésztelítettség, annál több a trikalcium-szilikát mennyisége, és kevesebb a dikalcium-szilikát mennyisége a klinkerben. Ha TT = 1, akkor szabad CaO és dikalcium-szilikát nincs jelen, a szilikátokban lekötött CaO teljes egészében trikalcium-szilikátot alkot. Ha TT > 1, akkor a klinker szabad CaO-t tartalmaz. A szabad CaO vízzel csak nagyon lassan, a cement megszilárdulása után reagál, miközben térfogata növekszik, duzzad, és ezért repedéseket okoz.

Az aluminátklinker tulajdonságaira a $c\cdot C/c\cdot A$ aránynak van hatása. A mésztartalom növelése a kezdeti szilárdságot, az alumíniumoxid-tartalom növelése a tűzállóságot növeli.

A klinker kis fajlagos felületű ❖ félkész termék, amely fedett tárolótérben a cementnél sokkal hosszabb ideig károsodás nélkül eláll, ezért folyamatos gyártással téli időszakban tartalékok képezhetők belőle. Cementgyártásra a pihentetett, lehűlt klinker alkalmas.

Portlandcement-klinkerásványok

Mai értelemben a portlandcement a szilikátcementek azon fajtája, amelyek portlandcementklinker-tartalma adott határértéket elér. Ez a határérték az MSZ EN 197-1:2000 szabvány szerint általában 65 tömeg% (CEM I és CEM II jelű cementfajták). A portlandcementklinker (*1. ábra*) elsősorban kalcium-szilikátokból épül fel, és zsugorodási hőmérsékleten (1400 – 1500 °C) égetett féltermék. A portlandcement típusú cementek a

zsugorított vagy olvasztott hidraulikus kötőanyagok csoportjába tartoznak, szemben a gyengén hidraulikus kötőanyagokkal ❖, amelyek alapanyagát zsugorodási hőmérséklet (1100 – 1200 °C) alatt égetik.

A portlandcement tulajdonságainak legfőbb hordozói a portlandcement-klinkerásványok, amelyek közül a legfontosabbak a következők:

Alit, trikalcium-szilikát ($3CaO \cdot SiO_2$, röviden: C3S). A cement 37-60 tömeg%-át teszi ki. A nagy kezdőszilárdságot adja.

Belit, a dikalcium-szilikát négyféle módosulata közül a legfontosabb, a β-módosulat (β-$2CaO \cdot SiO_2$, röviden: β-C2S). Mennyisége a cementben 15-37 tömeg%. Kezdeti szilárdulása lassú, utószilárdulása nagy, hőfejlesztése kicsi.

Felit, trikalcium-aluminát ($3CaO \cdot Al_2O_3$, röviden: C3A). Mennyisége a cementben: 7-15 tömeg%. Kezdeti szilárdulása gyors, hőfejlesztése nagy, zsugorodásra hajlamos. Ha hiányzik vagy kicsi a mennyisége a cementben, akkor a cement szulfátálló (*2. ábra*). Ellenkező esetben a cement kevésbé szulfátálló, mint a portlandcementek általában.

Celit, tetrakalcium-aluminát-ferrit ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$, röviden: C4AF). Mennyisége a cementben 10-18 tömeg%. Szilárdsága igen kicsi, lassan köt. Ennek a klinkerásványnak a mennyiségét növelve a cement szulfátállósága javul.

A négy portlandcement-klinkerásvány együttesen a tiszta portlandcement 90-98 tömeg%-át teszi ki. A maradék 2-10 tömeg% szabad magnéziumoxidból, kalciumszulfátból (gipszből) és kalciumoxidból áll.

1. ábra: Normál portlandcementklinker

2. ábra: Szulfátálló portlandcementklinker

Aluminátcement-klinkerásványok

Az aluminátcement (angolul: aluminous cement) nyersanyaga mészkő és alumíniumtartalmú kőzet, általában bauxit vagy timföld (többnyire bauxitból állítják elő), és eszerint beszélünk építési célú bauxitcementről, amely a bauxitbeton ❖, és timföldcementről (tűzállócementről), amely a tűzállóbeton kötőanyaga. Az ömlesztett aluminátcementeket, mint pl. a francia Lafarge-cementet (ciment fondu, ciment electrique) vagy a német Tonerde-Schmelzzement-et olvadási hőfokon égették. Hazánkban a bauxitcementet az 1920-as évek végén zsugorítást el nem érő hőfokon (töpörödési hőfok, 1000 – 1100 °C) égették, majd később áttértek a zsugorodási hőmérsékleten (kb. 1250 °C) való égetésre. A zsugorításhoz felhasznált hőenergia-szükséglet az olvasztáshoz szükséges értéknek fele-harmada. Az égetés terméke az aluminátcementklinker, amely alumínium-oxidban (Al_2O_3) dús vegyületekből áll.

Az aluminátcement legfontosabb klinkerásványai a kalciumaluminátok.

Az 1600 °C hőmérsékleten olvadó $CaO{\cdot}Al_2O_3$ (CA) klinkerásvány az aluminátcementek nagy kezdőszilárdságát biztosítja.

A $CaO{\cdot}2A1_20_3$ (CA_2) 1720 °C hőmérsékleten olvad, szilárdulása lassúbb.

Az 1590 °C-on olvadó $CaO{\cdot}A1_2O_3{\cdot}SiO_2$ (C_2AS), amelynek ásványtani neve gehlenit, kisebb-nagyobb mennyiségben mindig található a klinkerben, jelenléte a szilárdulási folyamatra nem előnyös.

A $4CaO{\cdot}A1_2O_3{\cdot}Fe_2O_3$ (C_4AF, brownmillerit) 1410 °C körül olvad.

A $12CaO \cdot 7A1_20_3$ ($C_{12}A_7$), egyes szerzők szerint $5CaO \cdot 3A1_2O_3$ (C_5A_3), valamint a $3CaO \cdot 5Al_2O_3$ (C_3A_5) összetételű mészaluminátok is hordozói a szilárdulási képességnek. Az esetleges gyorskötés oka tökéletlen feltáródás következtében és a bauxitcementklinker helytelen hőkezelése esetén előálló $3CaO \cdot 5Al_2O_3$ (C_3A).

A bauxitcement Al_2O_3 tartalma legalább 35 tömegszázalék volt, a tűzállócementé (*3. ábra*) legalább 60 tömegszázalék.

3. ábra: Tűzálló aluminátcement-klinker

Felhasznált irodalom

MSZ EN 197-1:2000	Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosították MSZ EN 197-1:2000/A1:2004 szám alatt
Bereczky Endre – Reichard Ernő:	A magyar cementipar története. SZIKKTI – CEMŰ – Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1970.
Dolezsai Károly – Pauka Imre:	Cementgyártás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1964.
Riesz Lajos:	Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.
Palotás László:	Fa – kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.
Talabér József (szerk.):	Cementipari Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. január havi számának 12-13. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben **Noteszlapok tematikusan**

tartalomjegyzékhez

Vissza a Fogalmak könyvtár tartalomjegyzékéhez

Kötőanyagok V. Hidraulikus kötőanyagok: Cement 3. Hidratáció

Németül:	Hydraulischese Bindemittel: Zement, Hydratation
Angolul:	Hydraulic binding materials: Cement, hydration
Franciául:	Liants hydraulique: Ciment, hydratation

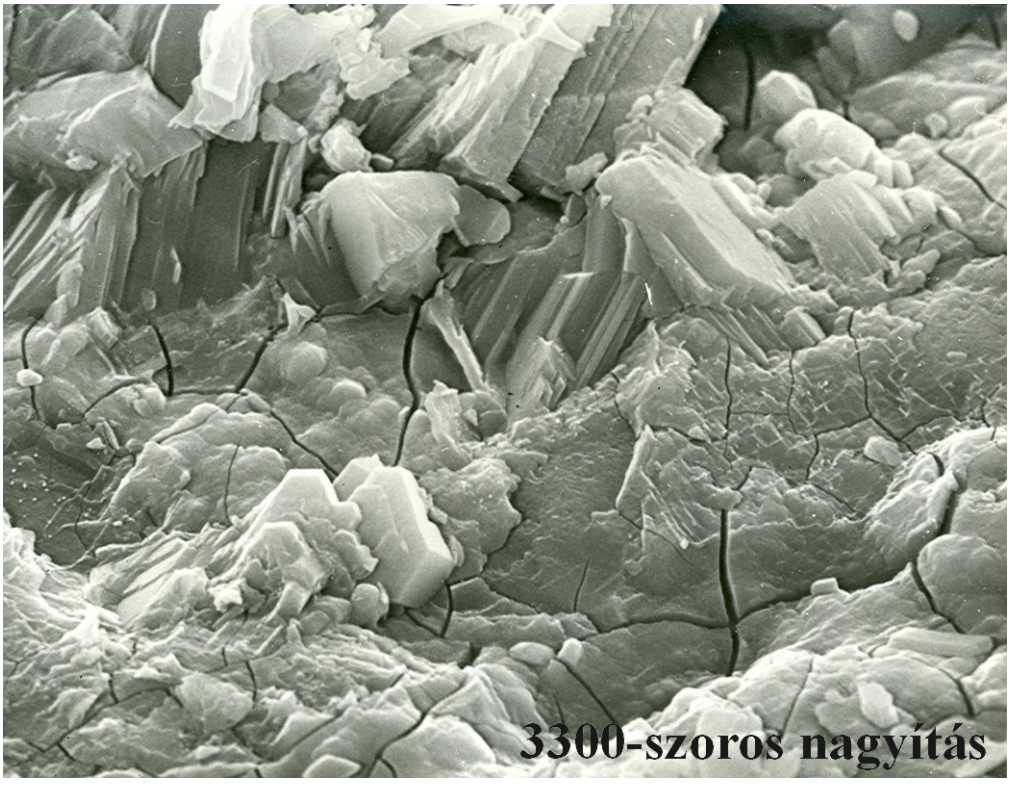
A cementet ❖, illetve a betont vízzel keverve (keverővíz ❖) a vízmentes klinkerásványok ❖ felhasadnak, és a keverővíz egy részét hidroxilgyök alakjában megkötik. Ez a folyamat a *hidratáció*, amelynek során oldhatatlan, szilárd hidráttermékek keletkeznek. A klinkerásványok mindegyike reagál a vízzel, de egymással nem lépnek reakcióba. A hidratáció csak vízzel hozható létre, a cement más folyadékkal keverve nem szilárdul (*Talabér*, 1966; *Riesz*, 1989). A cementhidratáció modelljét először *Powers, T. C.* fogalmazta meg 1947-ben és 1948-ban már *Brownyard T. L.* társkutatójaként, majd a modellt maga *Powers* és munkatársai (1949, 1953, 1960), továbbá későbbi korok számos kutatója továbbfejlesztette (*Stark – Möser – Eckart*, 2001; *Adam*, 2006; *Nothnagel*, 2007 stb.).

Portlandcement hidratációja

A vízzel való keverést követően kialakuló kalciumhidroxid-kalciumszilikát-kalciumaluminát gélrendszerből szilárd kristályos hidráttermékek válnak ki, és összefüggő vázszerkezetet alkotva kialakul a szilárd cementkő (*1. ábra*). A hidratáció a cementszemcse külső felületén létrejövő gélrétegben indul, és halad fokozatosan a szemcse belseje felé. A cementszemcséknek csak egy vékony, néhány mikrométer (10-15 μm) vastagságú felületi rétege hidratálódik. Minél finomabb őrlésű a cement, annál nagyobb az egységnyi cementtömegre eső felület (fajlagos felület ❖), következésképpen nagyobb a vízzel érintkező és így a hidratációban résztvevő klinkerásványok részaránya, és bizonyos határig a cement kialakuló kötőereje, szilárdsága. A hidratációs termékek kialakulásához víz és hely kell, ezért ha a víz-cement tényező ❖ kisebb, mint 0,32-0,36, akkor kellő mennyiségű víz és kapilláris pórus ❖ hiányában *gátolt hidratáció* lép fel. (*Palotás*, 1979)

A gélréteg kezdetben duzzad, majd vízvesztés közben a cementkővé szilárduló cementpép (cement + víz) zsugorodik. Ha a zsugorodás folytán ébredő húzóerő a még csak kialakulóban lévő húzószilárdságot meghaladja, akkor a cementkő összerepedezik. A zsugorodás ❖ mértéke és a vele járó repedésképződés ❖ veszélye a száradás megakadályozásával, a beton gondos utókezelésével ❖ csökkenthető.

A klinkerásványok ❖ közül az alit (trikalcium-szilikát) gyorsan, nagyrészt az első 50 nap alatt, a belit (dikalcium-szilikát) lassabban, lényegében 10-90 nap között hidratálódik. A felit (trikalcium-aluminát) kezdetben gyorsan szilárdul, majd néhány nap múlva a szilárdulás leáll, sőt a korábban kialakult szilárdság elvész. A celit (tetrakalcium-aluminát-ferrit) szilárdulása lassú, egyenletesen enyhén emelkedő (*2. ábra*). A hidratáció sebességét a tárolás módja is befolyásolja. A szilikátos alit és belit hidratációjának főterméke a kezdetben csaknem amorf, majd kristályosodó és rendkívül szilárd anyaggá váló kalcium-szilikát-hidrát gél (a kalcium-szilikát-hidrát a természetben, például a Balaton-felvidéken Uzsabányán, vagy a Prága-hegyen is előforduló ásvány, amelynek egyik változata a tobermorit: $5CaO{\cdot}3SiO_2{\cdot}5H_2O$ vagy $Ca_5(OH)_2{\cdot}Si_6O_{16}{\cdot}4H_2O$), melléktermék a szilárdságot nem adó kristályos kalciumhidroxid, az ún. portlandit (*3. ábra*).



1. ábra: Portlandcementkő elektronmikroszkópi felvétele

Az alit (trikalcium-szilikát) több lépcsős hidratáció eredményeként kalcium-szilikát-hidráttá alakul:

$$2\cdot(3CaO\cdot SiO_2) + 7H_2O \rightarrow 3CaO\cdot 2H_2\cdot 2SiO_3\cdot 2H_2O + 3Ca(OH)_2$$

A belit (dikalcium-szilikát) és az alit hidratációja között voltaképpen nincs nagy különbség, mert a végtermék azonos:

$$2\cdot(2CaO\cdot SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO\cdot 2H_2\cdot 2SiO_3\cdot H_2O + Ca(OH)_2$$

Minél nagyobb a kalcium-szilikát-hidrát gélben a Ca/Si arány, annál kisebb a keletkező portlandit mennyisége. A portlandit heterogén cementek esetén kalciumforrásként működik, és további kötőképes kalcium-szilikát-hidrát gél keletkezéséhez vezet.

A felit (trikalcium-aluminát) hidratációjának a folyamat végére kialakuló stabilis végterméke a trikalcium-aluminát-hexahidrát:

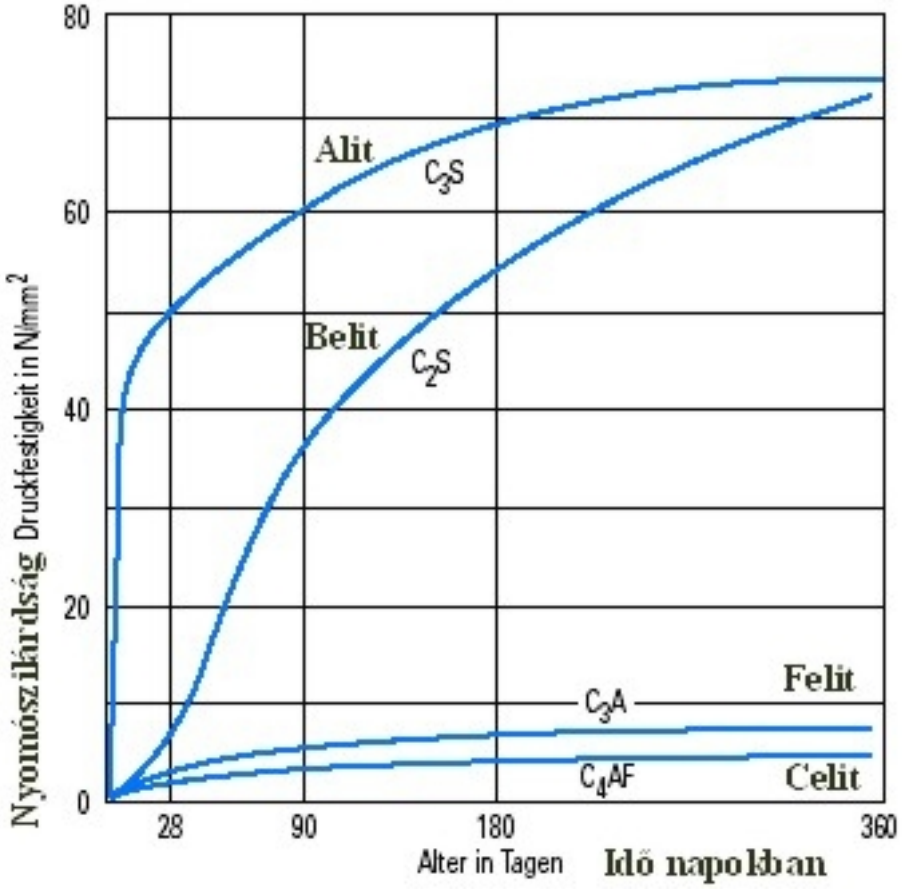
$$2\cdot(3CaO\cdot Al_2O_3) + 21H_2O \rightarrow 2\cdot(3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O) + 9H_2O$$

A celit (tetrakalcium-aluminát-ferrit) hidratációja a felitéhez hasonló:

$$3\cdot(4CaO\cdot Al_2O_3\cdot Fe_2O_3) + 30H_2O \rightarrow 3\cdot(3CaO\cdot Fe_2O_3\cdot 6H_2O) + 3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O + 2\cdot(Al_2O_3\cdot 3H_2O)$$

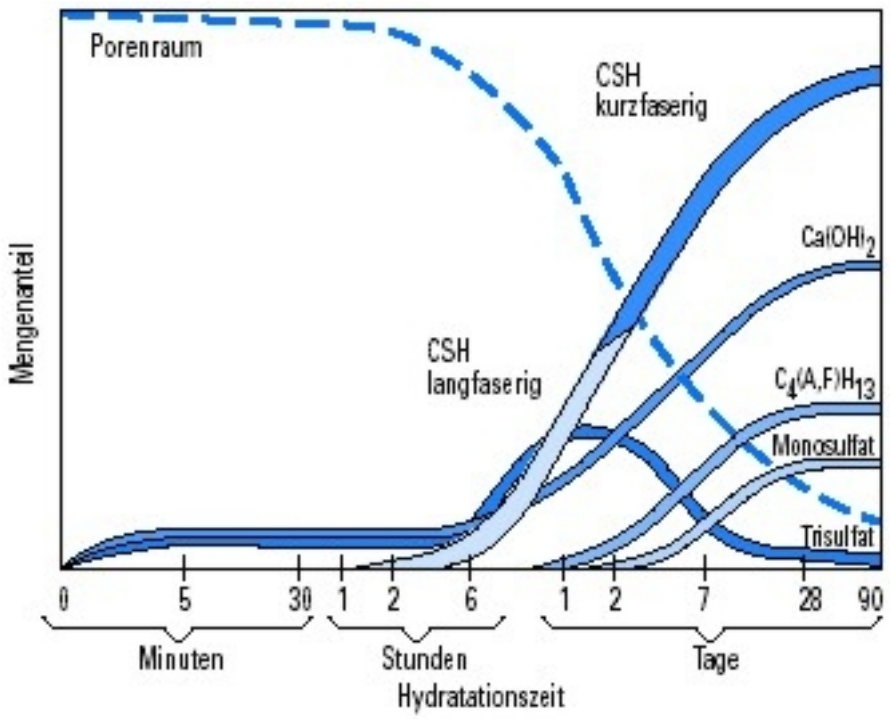
A hidratáció rendkívül bonyolult, összetett folyamat, a fenti összefüggések csak a hidratáció lényegét fejezik ki.

A felit és celit fázist összefoglaló néven „köztes anyag”-nak nevezik, mert a klinker mikroszkópi képén az alit és belit közötti teret tölti ki. Az aluminátos klinkerásványok („köztes anyag”) hidratációját a portlandcementhez kötésszabályozási céllal adagolt gipszkő (kalcium-szulfát, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ❖ befolyásolja, az SO_3 kén-trioxid beépül az aluminát fázisba. A hidratáció során a trikalcium-aluminát kalciumszulfát jelenlétében – melléktermék nélkül – főtermékként kalcium-aluminát-szulfátokká, a természetben is előforduló *ettringitté*, másnéven *triszulfáttá* ($6CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SO_3 \cdot 32H_2O$) és a természetben elő nem forduló ún. *monoszulfáttá* ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SO_3 \cdot 12H_2O$) alakul. Sok gipsz jelenlétében ettringit (ezt elsődleges ettringit képződésnek nevezik), kevés jelenlétében monoszulfát képződik, és ezek a trikalcium-aluminát és a szulfátionok arányának függvényében kölcsönösen átalakulhatnak egymásba. Sok szulfát hatására a monoszulfát ettringitté alakul át, sok trikalcium-aluminát hatására pedig fordítva. A ferritfázis hidratációja során is főtermékként ettringit és monoszulfát keletkezik, csak az alumínium egy részét vas helyettesíti, és a melléktermék alumíniumhidroxid. Későbbi külső szulfátforrás hatására a monoszulfát a betonban ettringitté alakulhat (ez a másodlagos ettringit képződés), ez az átalakulás térfogat növekedéssel jár, és káros duzzadást okoz (ezt szulfátkorróziónak hívják). (*Riesz*, 1989)



2. ábra: Klinker fázisok hidratációs termékének szilárdulási folyamata.
A hidratációs termékek (hidrátok) szilárdsága az idő függvényében.
(*Bogue, R. H.* és *Lerch, W.* után)

Forrás: *vdz.*, 2008.



3. ábra: Hidrát termékek képződése

Hydratationszeit = Hidratációs idő
Minuten = Percek
Stunden = Órák
Tage = Napok
Mengelanteil = Részarány
Porenraum = Pórustérfogat
CSH kurzfaserig = rövidszálú...
CSH langfaserig = hosszúszálú kalcium-szilikát-hidrát
$C_4(A,F)H_{13}$ = Celit
Forrás: *vdz.*, 2008.

Adam-nál (2006) olvashatjuk, hogy *Powers* és *Brownyard* (1947-1948) szerint 1 g cement legfeljebb $M_{v,n}$ = 0,23 g el nem gőzölhető vizet ❖ köt meg (víz-cement tényezővel kifejezve $x_{\text{el nem gőzölhető}}$ = 0,23). *Ez kevesebb, mint a teljes hidratációhoz szükséges víz, amely mint látni fogjuk 1 g cementre vetítve* $x_{0,min}$ *= 0,36 g, illetve* $x_{0,min}$*' = 0,42*. Ha az el nem gőzölhető víz sűrűsége nagyobb a kapilláris víz sűrűségénél ($\rho_{v,szabad}$ = 1,00 g/cm^3) és értéke $\rho_{v,n}$ = = 1,35 g/cm^3, akkor ennek reciproka az el nem gőzölhető víz fajlagos térfogata: $v_{v,n}$ = = 0,74 cm^3/g. Ha a cement sűrűsége ρ_c = 3,125 g/cm^3, akkor ennek reciproka a cement fajlagos térfogata: v_c = 0,32 cm^3/g. Teljes hidratáció esetén az 1 g cementkőben lévő el nem gőzölhető víz térfogata:

$$V_{v,n} = M_{v,n} \cdot v_{v,n} = 0{,}23 \cdot 0{,}74 = 0{,}17 \text{ cm}^3/\text{g}$$

Az 1 g cementből képződő hidratációs szilárd fázis térfogata a cement térfogatának és az el nem gőzölhető víz térfogatának az összege:

$$V_{hc} = V_c + V_{v,n} = 0{,}32 + 0{,}17 = 0{,}49 \text{ cm}^3/\text{g}$$

Ha 1 g cementből 0,49 cm^3/g hidratációs szilárd fázis képződik, akkor 1 cm^3 cementből képződő szilárd fázis térfogata V_{hc}/v_c = 0,49/0,32 =1,531 cm^3/cm^3.

(Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a német szakirodalomban előfordul, hogy a szilárd fázist nevezik cementgélnek → Zementgel.)

A cement hidratációs termékeinek összege alkotja a szilárd fázist és a cementgélt. A hidratációs cementgél gélpórusokat tartalmaz. Olykor a cementgélt egyszerűen gélpórusnak nevezik, értve alatta a pórusos cementgélt. (A gélpórusok átmérője kisebb, mint 0,01 μm, de feltétlenül kisebb, mint 0,1 μm; a pórusméretek megadása szerzőnként eltérő lehet). A cementkő térfogata a szilárd fázis és a gélpórusokat tartalmazó cementgél térfogatának összege. (Ha a vízadagolás, illetve víztartalom nem nagyobb, mint amennyi víz a teljes hidratációhoz szükséges, és az el sem tud párologni, akkor $V_{\text{kapilláris}}$ kapilláris pórusok nem keletkeznek, illetve nem törvényszerű, hogy keletkezzenek. Ezeket a kapilláris pórusokat nem szabad összetéveszteni a $V_{\text{zsugorodási}}$ zsugorodási pórusokkal.)

A modellalkotók feltételezték továbbá, hogy a 1 cm^3 cementkő kb. v_{GP} = 0,28 cm^3 cementgélből és (1 - v_{GP}) = 0,72 cm^3 hidratációs termékből áll. Ha 1 cm^3 cementből V_{hc}/v_c = = 1,531 cm^3/cm^3 hidratációs termék (cementgél) keletkezik, és ez a cementkő térfogatának (1 - v_{GP}) = 0,72 része, akkor az 1 cm^3 cementből képződő cementkő térfogata (X):

$$X = \frac{V_{hc}/v_c}{1-v_{GP}} = \frac{V_{hc}}{v_c\cdot(1-v_{GP})} = \frac{V_c+V_{v,n}}{v_c\cdot(1-v_{GP})} = \frac{0{,}32+0{,}17}{0{,}32\cdot(1-0{,}28)} = \frac{1{,}531}{0{,}72} = 2{,}126 \quad cm^3/cm^3$$

Tehát 1 cm^3 cement teljes hidratációja során a keletkező cementkő (cementgél + gélpórus) térfogata 2,126 cm^3. Ha feltételezzük, hogy a keletkező cementkő térfogata a hidratációs fokkal arányos, akkor az előbbi összefüggés a *hidratációs fok* (α) függvényében (teljes hidratáció esetén $\alpha = \alpha_\infty = 1$) a következő alakot ölti :

$$X_\alpha = \frac{\alpha\cdot V_{hc}/v_c}{1-\alpha\cdot v_{GP}} = \frac{\alpha\cdot V_{hc}}{v_c\cdot(1-\alpha\cdot v_{GP})} \quad cm^3/cm^3$$

Ha 1 cm^3 cement teljes hidratációjából X = 2,126 cm^3/cm^3 térfogatú cementkő képződik, akkor 1 g tömegű cementből $X/\rho_c = v_c\cdot X$ = 0,32·2,126 = 0,68 cm^3/g térfogatú cementkő lesz. Az 1 g tömegű cement teljes hidratációhoz szükséges víz mennyisége az 1 g tömegű cementből keletkező cementkő térfogatának és az 1 g tömegű cement térfogatának különbségeként írható fel, és a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényezőként ($x_{0,\,min}$) értelmezhető, ha a próbatestet az utókezelés alatt többlet vízhez juthat:

$$x_{0,min} = v_c\cdot X - v_c = v_c\cdot(X-1) = 0{,}68 - 0{,}32 \equiv 0{,}32\cdot(2{,}126-1) = 0{,}36 \text{ g/g}$$

A kémiai zsugorodás folytán a hidratáció során zsugorodási pórusok ($V_{zsugorodási}$) jönnek létre. Ha teljes hidratáció esetén az 1 g cement által megkötött, el nem gőzölhető víz tömege $M_{v,n}$ = 0,23 g/g, akkor ennek a víznek a térfogata keverővíz alakjában $V_{v,szabad} = M_{v,n}/\rho_{v,szabad}$ = 0,23/1,00 = 0,23 cm^3/g, és el nem gőzölt víz alakjában $V_{v,n} = M_{v,n}/\rho_{v,n}$ = 0,23/1,35 = = 0,17 cm^3/g. Az 1 g tömegű cement teljes hidratációja esetén létrejövő $V_{zsugorodási}$ zsugorodási pórusok térfogata a hidratációhoz szükséges el nem gőzölt víz térfogat-csökkenéséből adódik:

$V_{zsugorodási} = V_{v,szabad} - V_{v,n} = (M_{v,n}/\rho_{v,szabad}) - (M_{v,n}/\rho_{v,n}) = M_{v.n}\cdot\{(1/v_{v,szabad}) - (1/v_{v,n})\} =$
$= 0{,}23 - 0{,}17 \equiv 0{,}23/1{,}00 - 0{,}23/1{,}35 = 0{,}23\cdot(1{,}00 - 0{,}74) = 0{,}23\cdot 0{,}26 = 0{,}06$ cm^3/g

Ha 1 g tömegű cement teljes hidratációjakor $V_{zsugorodási,M}$ = 0,06 cm^3/g térfogatú zsugorodási pórusok keletkeznek, akkor ezeknek a pórusoknak a térfogata 1 cm^3 térfogatú cementre vetítve: $V_{zsugorodási,V} = \rho_c\cdot V_{zsugorodási,M}$ = 3,125·0,06 = 0,188 cm^3/cm^3.

A vízfelszívástól és párologtatástól fóliatakarással védett („konzervált") próbatest zsugorodási pórusai levegővel telnek meg. Ha azonban a próbatestet víz alatt tárolják, akkor próbatest zsugorodási pórusai vizet szívnak fel. Ha a víz alatt tárolt próbatest a teljes hidratációhoz szükségesnél ($x_{0,min}$' = 0,42) kisebb x_0 víz-cement tényezővel készült, akkor a pótlólagosan felszívott víz a készítéskori kis víz-cement tényező ($x_0 < x_{0,min}$') ellenére lehetővé teheti a teljes hidratációt. A teória szerint ebben az esetben az 1 cm^3 cementből képződő cementkő térfogata nem X, hanem $V_{zsugorodási,V}$ térfogattal több:

$X' = X + V_{zsugorodási,V} = X + \rho_c\cdot V_{zsugorodási,M} = 2{,}126 + 3{,}125\cdot 0{,}06 = 2{,}126 + 0{,}188 =$
$= 2{,}314$ cm^3/cm^3

A nagyobb térfogatú cementkő kialakulásához teljes hidratáció esetén nem $x_{0,min}$, hanem $x_{0,min}$' víz mennyiségre van szükség, amit úgy kapunk meg, hogy az $x_{0,min}$ fenti összefüggésébe X helyett X'-t írunk:

$x_{0,min}' = v_c\cdot X' - v_c = v_c\cdot(X'-1) = v_c\cdot(X + V_{zsugorodási,V} - 1) = 0{,}32\cdot(2{,}126 + 0{,}188 - 1) = 0{,}36 +$
$+ 0{,}06 = 0{,}42$ g/g

Tehát víz alatt tárolt próbatest esetén az 1 g tömegű cement teljes hidratációhoz felhasznált víz mennyisége, más szóval a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényező értéke $x_{0,min}' = 0{,}42$.

Ha a hidratáció nem teljes, akkor a hidratációs fokhoz ($\alpha \leq 1{,}0$) tartozó víz-cement tényező:

$$x_{0,min,\alpha}' = \alpha \cdot x_{0,min}' = \alpha \cdot v_c \cdot (X' - 1) = \alpha \cdot 0{,}42 \leq x_{0,min}'$$

és az alkalmazott $x_0 \leq x_{0,min}'$ víz-cement tényezőhöz tartozó hidratációs fok:

$$\alpha = \frac{x_{0,\,min\,',\alpha}}{v_c \cdot \left(X' - 1\right)} = \frac{x_{0,\,min\,',\alpha}}{0{,}42} \rightarrow \frac{x_0}{0{,}42}$$

Az $x_{0,min}' = 0{,}42$ értéknél kisebb víz-cement tényezővel (x_0') készült és elegendő pótlólagos vízhez (1,0 g cement esetén: $x_{0,min}' - x_0$) nem jutó cementkő hidratációja nem lehet teljes. Az $x_0 < x_{0,min}' = 0{,}42$ víz-cement tényezővel készült és víz alatt tárolt, de elegendő pótlólagos vízhez még sem jutó cementkő hidratációs foka ($\alpha' \leq 1{,}0$) az

$$x_0 = \alpha' \cdot x_{0,min}' = \alpha' \cdot (v_c \cdot X' - v_c) = \alpha' \cdot v_c \cdot (X + V_{zsugorodási,V} - 1) = \alpha' \cdot 0{,}42 \leq 0{,}42$$

összefüggésből legfeljebb:

$$\alpha' = \frac{x_{0,min,\alpha}'}{v_c \cdot \left(X + V_{zsugorodás\,i,V} - 1\right)} = \frac{x_{0,min,\alpha}'}{0{,}42} \rightarrow \frac{x_0'}{0{,}42}$$

Ha a hidratáció alatt a teljes hidratációhoz szükséges vízből elpárolog, akkor levegő tartalmú kapilláris pórusok maradnak vissza. Ha az alkalmazott x_0 víz-cement tényező a hidratáció α fokához szükségesnél nagyobb ($x_0 > \alpha \cdot x_{0,min}'$), akkor törvényszerű a $V_{kapilláris}$ fajlagos térfogatú kapilláris pórusok keletkezése, mert az ($x_0 - \alpha \cdot x_{0,min}'$) vízfelesleg el fog párologni. {A kapilláris pórusok átmérője nagyobb, mint 0,01 μm, de feltétlenül nagyobb, mint 0,1 μm és kisebb, mint 40 μm, de feltétlenül kisebb, mint 150 μm (a pórusméretek megadása szerzőnként eltérő lehet)}. A kapilláris pórusok fajlagos térfogatát cm^3/cm^3 mértékegységben az 1 g cementre vetített ($x_0 - \alpha \cdot x_{0,min}'$) cm^3/g térfogatú vízfeleslegnek és a cement és keverővíz térfogatösszegének ($v_c + x_0$) cm^3/g a hányadosa adja:

$$V_{kapilláris} = \frac{x_0 - \alpha \cdot x_{0,\,min}'}{v_c + x_0} = \frac{x_0 - \alpha \cdot v_c \cdot (X' - 1)}{v_c + x_0} = \frac{x_0 - \alpha \cdot 0{,}42}{0{,}32 + x_0} \quad cm^3 / cm^3$$

Ha a cementkő 1 cm^3 térfogatából levonjuk a kapilláris pórusok fajlagos térfogatát, akkor a cementkő tömörségét (mértékegység nélkül) kapjuk:

$$t = 1 - V_{kapilláris} = 1 - \frac{x_0 - \alpha.0{,}42}{0{,}32 + x_0} = 1 - \frac{3{,}125 \cdot x_0 - 1{,}3125 \cdot \alpha}{1 + 3{,}125 \cdot x_0} = \frac{1 + 1{,}3125 \cdot \alpha}{1 + 3{,}125 \cdot x_0}$$

A cementkő porozitása (mértékegység nélkül):

$$p = 1 - t = V_{kapilláris}$$

A teljesen hidratált cementkő pórusarányai a hidratációhoz rendelkezésre álló víz-cement tényező függvényében a *4.* és az *5. ábrán* láthatók.

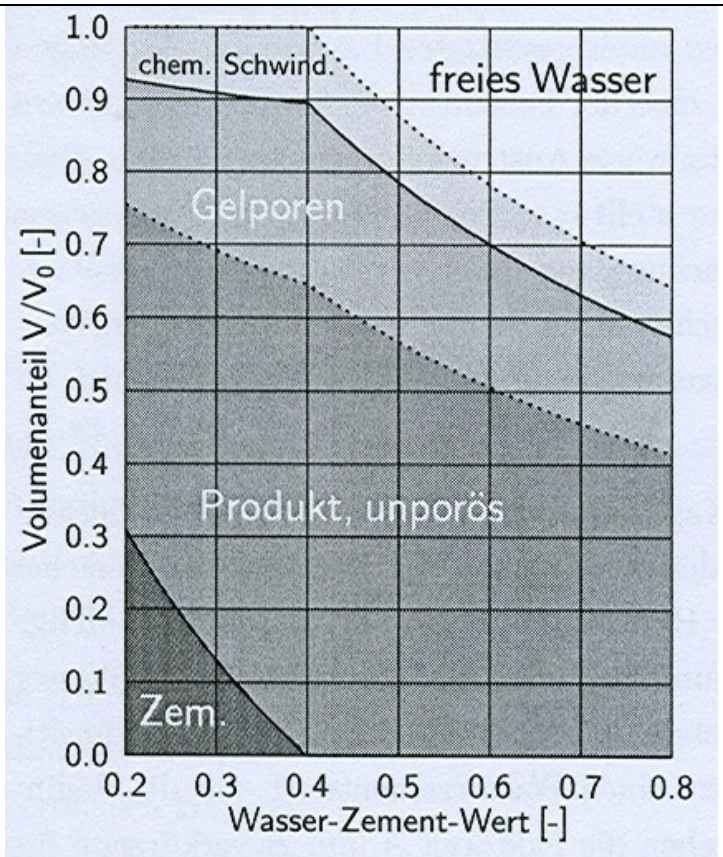
A cement hidratáció *Powers* és *Brownyard* féle modelljének fenn ismertetett verziója *Adam* (2006) akadémiai doktori értekezésében található. Az értekezést olvasva lépésről lépésre követhető a modell-alkotó cement kutatók gondolkodás módja. A modell főbb elveit és a számítások eredményét hasznos lehet összefoglalni:

- A cementkő térfogata a teljes hidratáció állapotában kapilláris pórusokat nem tartalmaz, hanem a szilárd fázis és a gélpórusokat tartalmazó cementgél térfogatának összege.
- A cement teljes hidratációjában el nem gőzölhető és elgőzölhető víz is részt vesz, következésképpen a gélpórusokban elgőzölhető víz is van.
- Az el nem gőzölhető víz sűrűsége a belső nyomás folytán $\rho_{v,n} = 1{,}35$ g/cm^3, tehát 1 g = = 1 cm^3 térfogatú keverővíz fajlagos térfogata a cementkőbe beépülve $v_{v,n} = 1/1{,}35 =$ = 0,74 cm^3/g lesz. E tekintetben nem tesznek különbséget az el nem gőzölhető víz és a gélvíz között.
- 1 g cement legfeljebb $M_{v,n} = 0{,}23$ g/g el nem gőzölhető vizet köt meg (víz-cement tényezővel kifejezve $x_{\text{el nem gőzölhető}} = 0{,}23$). Ez kevesebb, mint a teljes hidratációhoz szükséges víz, amely 1 g cementre vetítve $x_{0,\min} = 0{,}36$ g/g, ha a próbatestet az utókezelés alatt vízhez jut.
- 1 g cement által teljes hidratáció során megkötött el nem gőzölhető víz térfogata a cementkőben $V_{wn} = 0{,}17$ cm^3/g.
- 1 g cementből teljes hidratáció során képződő hidratációs szilárd fázis térfogata $V_{hc} =$ = 0,49 cm^3/g.
- 1 cm^3 cementből teljes hidratáció során képződő hidratációs szilárd fázis térfogata $V_{hc}/v_c = 1{,}53$ cm^3/cm^3.
- 1 cm^3 cement teljes hidratációjából képződő cementkő (szilárd fázis + cementgél) térfogata $X = 2{,}13$ cm^3/cm^3.
- A teljes hidratációhoz szükséges minimális készítési víz-cement tényező – ha a próbatestet az utókezelés alatt vízhez jut – $x_{0,\min} = 0{,}36$.
- 1 g tömegű cement teljes hidratációjakor $V_{\text{zsugorodási,M}} = 0{,}06$ cm^3/g térfogatú zsugorodási pórus keletkezik. Ezeknek a pórusoknak a térfogata 1 cm^3 térfogatú cementre vetítve: $V_{\text{zsugorodási,V}} = \rho_c \cdot V_{\text{zsugorodási,M}} = 3{,}125 \cdot 0{,}06 = 0{,}188$ cm^3/cm^3.
- A vízfelszívástól és párologtatástól fóliatakarással védett („konzervált”) próbatest zsugorodási pórusai levegővel telnek meg. Ha azonban a próbatestet víz alatt tárolják, akkor próbatest zsugorodási pórusai vizet szívnak fel. Víz alatt tárolt próbatest esetén az 1 g tömegű cement teljes hidratációhoz szükséges víz mennyisége $x_{0,\min}' = x_{0,\min} +$ + $V_{\text{zsugorodási,M}} = 0{,}36 + 0{,}06 = 0{,}42$ g/g, más szóval a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényező értéke $x_{0,\min}' = 0{,}42$.
- Ha a víz alatt tárolt próbatest a teljes hidratációhoz szükségesnél ($x_{0,\min}' = 0{,}42$) kisebb x_0 víz-cement tényezővel készült, akkor a pótlólagosan felszívott víz a készítéskori kis víz-cement tényező ($x_0 < x_{0,\min}'$) ellenére lehetővé teheti a teljes hidratációt. A teória szerint ebben az esetben az 1 cm^3 cementből képződő cementkő térfogata $X' = 2{,}31$ cm^3/ cm^3.
- Ha az alkalmazott x_0 víz-cement tényező a hidratáció α fokához szükségesnél nagyobb ($x_0 > \alpha \cdot x_{0,\min}'$), akkor törvényszerű a $V_{\text{kapilláris}}$ fajlagos térfogatú kapilláris pórusok keletkezése, mert az ($x_0 - \alpha \cdot x_{0,\min}'$) vízfelesleg el fog párologni.
- Teljes hidratációhoz szükséges víz mennyisége a cementnek megközelítőleg mintegy 40 – 42 tömeg%-a (víz-cement tényezővel kifejezve: $x = 0{,}40$ vagy 0,42). E cementkő víztartalma pl. $100 \cdot 0{,}42/(1+0{,}42) = 29{,}6$ tömeg%. A teljesen hidratált cementkő a cementre vetítve mintegy 25 – 26 tömeg% ($x_k = 0{,}25$ vagy 0,26) kémiailag (szerkezetileg) kötött, ún. el nem gőzölhető vizet tartalmaz (az ilyen cementkő kémiailag kötött víztartalma pl. $100 \cdot 0{,}26/(1+0{,}26) = 20{,}6$ tömeg%), míg a víz másik része a fizikailag kötött, elgőzölhető víz (pórusvíz) 15 – 16 tömeg% ($x_f = 0{,}15$ vagy 0,16). E cementkő fizikailag kötött víztartalma pl. $100 \cdot 0{,}16/(1+0{,}16) = 13{,}8$ tömeg%.

A fenti $p = V_{\text{kapilláris}}$ képlettel kiszámított kezdeti porozitás (p_0; $\alpha = 0{,}0$), az $\alpha = 0{,}5$ és $\alpha = 0{,}7$ hidratációs fokhoz tartozó közbenső porozitás ($p_{0,5}$; $p_{0,7}$) értékeit, valamint a porozitás értékeit a hidratációs egyensúlyi végállapotban ($p_{0,85}$; $\alpha = 0{,}85$) az *1. táblázatban* mutatjuk be. Megjegyezzük, hogy *Palotás* (1979) *Powersre* hivatkozva az egyensúlyi végállapothoz tartozó porozitásra könyvének 520. oldalán az *1. táblázatbelieknél* sokkal nagyobb értékeket ad meg.

1. táblázat: Cementkő porozitása (p_α) kezdeti, közbenső és egyensúlyi végállapotban a víz-cement tényező (x_0) és a hidratáció fokának (α) függvényében a fenti $p = V_{\text{kapilláris}}$ képlet alapján

x_0	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60
p_0 (ha $\alpha = 0{,}0$)	0,529	0,549	0,568	0,584	0,610	0,632	0,652
$p_{0,5}$ (ha $\alpha = 0{,}5$)	0,221	0,254	0,284	0,312	0,354	0,391	0,424
$p_{0,7}$ (ha $\alpha = 0{,}7$)	0,097	0,135	0,170	0,203	0,251	0,294	0,333
$p_{0,85}$ (ha $\alpha = 0{,}85$)	0,004	0,046	0,085	0,121	0,174	0,222	0,264
Megjegyzés: Az $\alpha = 0{,}5$ hidratációs fok közelítőleg 7 napos kornak, az $\alpha = 0{,}7$ hidratációs fok közelítőleg 28 napos kornak felel meg mintegy 70 % relatív nedvességtartalom esetén, *Palotás* (1979) után.							



4. ábra: Teljesen hidratált cementkő pórusarányai a hidratációhoz rendelkezésre álló víz-cement tényező függvényében, ha a próbatest a vízforgalomtól el van zárva

Wasser-Zement-Wert = Víz-cement tényező

Volumenanteil = Térfogatarány

Freies Wasser = Szabad víz, azaz kapilláris pórusok

Chem. Schwind. = Kémiai zsugorodás

Gelporen = Porozus gél

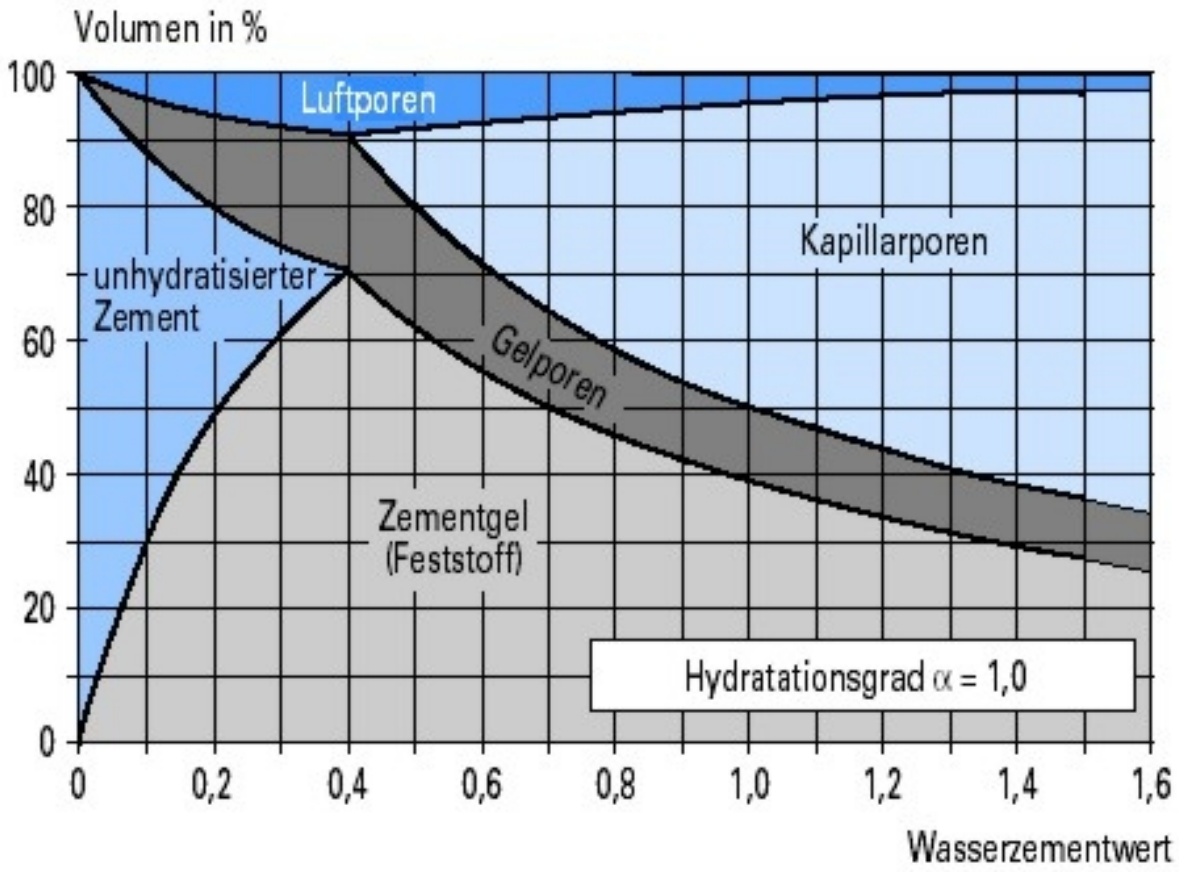
Produkt, unporös = Szilárd, tömör hidratációs termékek

Zem. = Hidratálatlan cement szemek

Forrás: *Nothnagel*, 2007.

Más olvasatban: A cementkőben lévő elgőzölhető és el nem gőzölhető víz összegének és a keverővíznek a különbsége a *cementkő egyensúlyi víztartalmának* kialakulása során elpárolog, és a cementkőben kapillárisokat (pórusszerkezet ❖) hagy maga után. A kapillárisok mennyiségének csökkentése, egyben a cementkő, illetve a beton szilárdságának növelése a víz-cement tényező csökkentésével érhető el. Az elgőzölhető víz szabad vízből, kapilláris vízből és gélvízből áll. A gélvizet fizikailag kötött víznek is nevezik. Ha a környező levegő relatív nedvességtartalma kisebb, mint 40 %, akkor a cementkő egyensúlyi állapotban csak kötött vizet, azaz csak kémiailag kötött vizet és fizikailag kötött vizet (gélvizet) tartalmaz, és a

gélvíz mennyisége csupán a levegő relatív nedvességtartalmától és a hidratációs foktól függ (*Palotás*, 1979).



5. ábra: Teljesen hidratált cementkő pórusarányai a hidratációhoz rendelkezésre álló víz-cement tényező függvényében, ha a próbatest a vízforgalomtól el van zárva

Wasserzementwert = Víz-cement tényező
Volumen in % = Térfogatarány
Luftporen = Légpórusok
Kapillarporen = Kapilláris pórusok
Gelporen = Porozus gél
Zementgel (Feststoff) = Szilárd, tömör hidratációs termékek
Unhydratisierter Zement = Hidratálatlan cement szemek
Hydratationsgrad = Hidratációs fok
Forrás: *vdz.*, 2008.

A cement hidratáció számos tényezőtől befolyásolt bonyolult folyamat, ezért a különböző feltételek mellett levezetett klasszikus modellek eredményei egymástól és a kísérleti eredményektől is eltérhetnek, ha nem is nagyságrendileg, csak árnyalatokban. Például *Nothnagel* (2007) egyetemi doktori értekezésében az áll, hogy *Powers* és *Brownyard* kísérletei szerint a teljes hidratációhoz szükséges minimális víz-cement tényező – ha a próbatest az utókezelés során további vízhez juthat – 0,38 (fenn $x_{0,\min} = 0{,}36$ érték szerepel), és víz alatti tárolás esetén 0,44 (szemben a fenti $x_{0,\min}$' = 0,42 értékkel). *Nothnagel* azt írja, hogy a teljesen hidratált cementkő a cementre vetítve mintegy 25 tömeg% (víz-cement tényezővel kifejezve: $x_k = 0{,}25$) kémiailag (szerkezetileg) kötött, ún. el nem gőzölhető vizet tartalmaz (az ilyen cementkő kémiailag kötött víztartalma $100 \cdot 0{,}25/(1+0{,}25) = 20$ tömeg%), míg fenn $M_{v,n} = 0{,}23$ g/g, azaz $x_{\text{kémiailag-kötött}} = 0{,}23$ áll, és a víz másik része (pórusvíz, fizikailag kötött víz, elgőzölhető víz ❖), 15 tömeg% ($x_f = 0{,}15$) a hidratált cementszemcsék közötti pórusokat, hézagokat tölti ki (*Nothnagel*, 2007). *Palotás* (1979) még kisebb értékről

írt, szerinte legalább 15 – 18 tömeg% (víz-cement tényezővel kifejezve: x = 0,15 – 0,18) kémiailag kötött, ún. el nem gőzölhető víz épül be a cementbe. *Riesz* (1989) szerint szokványos portlandcement esetén a teljes hidratáció állapotában a cementkő víztartalma 23-28 tömeg%, ami x = 23/(100-23) = 0,30, illetve x = 28/(100-28) = = 0,39 víz-cement tényezőnek felel meg. Eszerint a teljes hidratáció esetén a kémiailag és fizikailag kötött víz együttes mennyisége a cementnek megközelítőleg 40 tömeg%-a. Elvileg fenn áll a lehetőség, hogy az $x \leq 0{,}4$ víz-cement tényezőjű cementkő, illetve beton a hidratáció végén a kapilláris pórusoktól mentes legyen, még ha nincs is minden cementszemcse teljesen hidratált állapotban (*Schwenk*, 2006), például a teljes hidratációhoz szükséges elegendő víz vagy hely hiánya miatt.

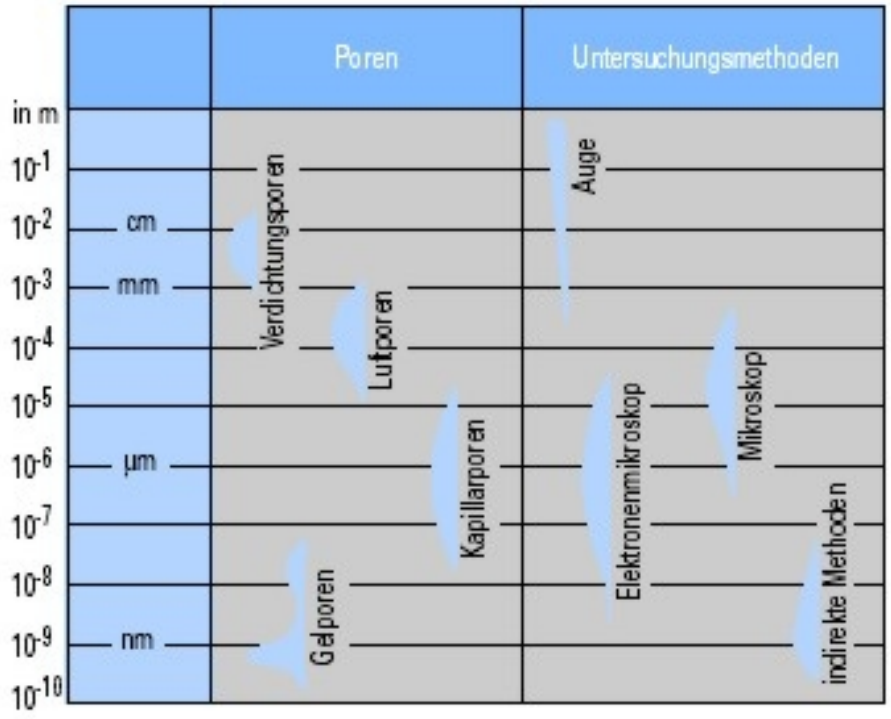
Nothnagel (2007) szerint a teljes hidratációhoz szükséges, alkalmazandó víz-cement tényező a cementkő víztől elzárt állapotában $x_0 \geq 0{,}4$, mert a cementkőnek utólag nincs lehetősége vízfelvételre; és víz alatti tárolás esetén $x_0 \geq 0{,}324$, mert a cementkő így lehetőséget kap az utólagos vízfelvételre. *Powers* és *Brownyard* kísérletek alapján a teljes hidratáció feltételeként víz alatti tárolás esetére $x \sim 0{,}38$ értékű víz-cement tényezőt jelölt meg, és azon a véleményen volt, hogy x = 0,32 alatti víz-cement tényező esetén az összes víz gélvíz formájában van jelen. Ha az utókezelés alatt utólag felvett vizet is figyelembe veszik, akkor a teljes hidratációhoz tartozó víz-cement tényező x = 0,44 értékre adódik.

Kísérletileg a cement hidratációját vízforgalomtól elzárt és vízzel telített cementkő próbatesteken szokták vizsgálni (*Nothnagel*, 2007). A vízforgalomtól elzáró utókezelés (versiegelte Lagerung) megelőzi a cementkő korai, egyenlőtlen kiszáradását, és a száradási zsugorodás hatására fellépő mikrorepedések kialakulását. Az ilyen, ún. vízforgalomtól elzáró utókezelés során a szorosan polietilén fóliába göngyölt próbatestet epoxi gyantával vonják be, majd alumínium fóliát ragasztanak rá, végül a külső sérülésektől is polietilén fóliával védik meg. Vízzel telítettnek a kizsaluzás után víz alatt tárolt (gesättigte Lagerung) próbatestet tekintik (ezalatt a kis víz-cement tényezőjű próbatest vizet vehet fel).

A portlandcement *kémiailag kötött vízének* mennyiségét vagy sztöchiometrikusan számítják vagy az izzítási veszteségből határozzák meg hosszú hidratációs idő elteltével. Fagyasztásos szárítással azt kapták, hogy a kémiailag kötött víz a vízmentes cement 21 – 24 tömeg%-a. A kémiailag kötött vízre a cementkövet 11 % relatív nedvességtartalmú térben, 25 °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítva azt kapták, hogy az mintegy 34 tömeg%. A különbség abból adódik, hogy a fagyasztásos eljárás során egyes fázisok dehidratálódnak. Ezt fagyasztásos szárításnál 10 – 15 százaléknyi fizikailag kötött víz hozzáadásával szokták figyelembe venni. A kémiailag kötött víz, a fizikailag kötött víz és a pórusvíz megbízható különválasztására ma tulajdonképpen nincs mérési módszer. Izzítás során a cementkő folyamatosan dehidratálódik. Végül is úgy tartják, hogy teljes hidratáció esetén a kémiailag és fizikailag kötött víz mennyisége a cement tömegére vonatkoztatva mintegy 40 tömeg%, és ez x = 0,4 értékű víz-cement tényezőnek felel meg (*Adam*, 2006).

Ezeknél az eltéréseknél azonban sokkal jelentősebb eltérés van a klasszikus modell adta eredmények és a korszerű, *különleges betonokkal* végzett kísérletek eredményei között, hiszen a mai a betontechnológia a korszerű anyagok (pl. adalékszerek, hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagok stb.) és gyártási módszerek (pl. intenzív tömörítés, hőérlelés stb.) alkalmazásával a klasszikus betontechnológia lehetőségeit messze meghaladja. Például ma már – *Powers* és *Brownyard* után 60 évvel (külföldön korábban) – x_0 = 0,23 alatti víz-cement tényezővel olyan különlegesen tömör betont, illeve finombetont lehet készíteni, amelynek nyomószilárdsága az $f_{ck,cyl}$ = 150 N/mm^2 értéket is meghaladja (ez az ún. ultra nagy szilárdságú beton ❖). Például x = 0,23 *víz-cement tényezővel* készített finombetonon higanyporoziméterrel – amelynek ugyan korlátozott a méréstartománya (*6. ábra*) – 6 térfogat% alatti összes porozitást is mérnek (hagyományos, x = 0,5 víz-cement tényezőjű

beton esetén ez az érték mintegy 12 térfogat%). Az ultra nagy szilárdságú beton hidratációs fokának végértéke a nagyon kis víz-cement tényező folytán $\alpha = 0{,}4 – 0{,}6$, és így a kiindulási klinker fázisok egy része hidratálatlan marad. Ez elsősorban a lassabban hidratálódó belitet, adott esetben a nehezebben oldódó szulfát-hordozókat és a reagálatlan szilikaport érinti.



Forrás: *vdz.*, 2008.

6. ábra: Pórusméret vizsgálat mérés-tartománya

Verdichtungsporen = Tömörítési pórusok
Luftporen = Légpórusok
Kapillarporen = Kapilláris pórusok
Gelporen = Gélpórusok
Auge = Szemmel
Mikroskop = Mikroszkóppal
Elektronenmikros-kop = Elektron-mikroszkóppal
Indirekte Methoden = Közvetett módszerekkel

A hidratáció kezdetben általában gyorsabb, majd lassuló, de évekig tartó folyamat, állapotát a hidratációs fokkal szokás kifejezni. A hidratációs fok a levegő relatív nedvességtartalmának, a cementfajtának és a test ún. kiszáradó átlagos vastagságának a függvénye. A test kiszáradó átlagos vastagsága alatt a test kétszeres térfogatának és kiszáradó felületének hányadosa értendő. A hidratációs fok értéke a hidratáció kezdetén 0, teljes hidratáció esetén 1. Ha a levegő relatív nedvességtartalma kisebb, mint 80 %, akkor a hidratáció általában leáll, ha mintegy 70 %, akkor a hidratációs fok végértéke kb. 0,85. A cementkőben tehát egyidejűleg többé-kevésbé jelen van a képlékeny (plasztikus) ❖, folyékony (viszkózus) cementgél és a szilárd, hidratált cementrész. A képlékeny rész alakváltozása részben vagy nagyobb részt maradó, a szilárd rész alakváltozása lényegében rugalmas (elasztikus) ❖, így együttesen a cementkő alakváltozása kváziviszkózusnak, a kváziviszkózus cementkőből és a rugalmas adalékanyagból álló beton kétfázisú, elasztóviszkózus vagy elasztóplasztikus anyagnak tekinthető. A képlékeny fázis jelenlétének tudható be a beton kúszása és ernyedése ❖ (*Palotás*, 1979).

A hidratációs fokot többféleképpen is ki lehet fejezni. Érteni lehet alatta például

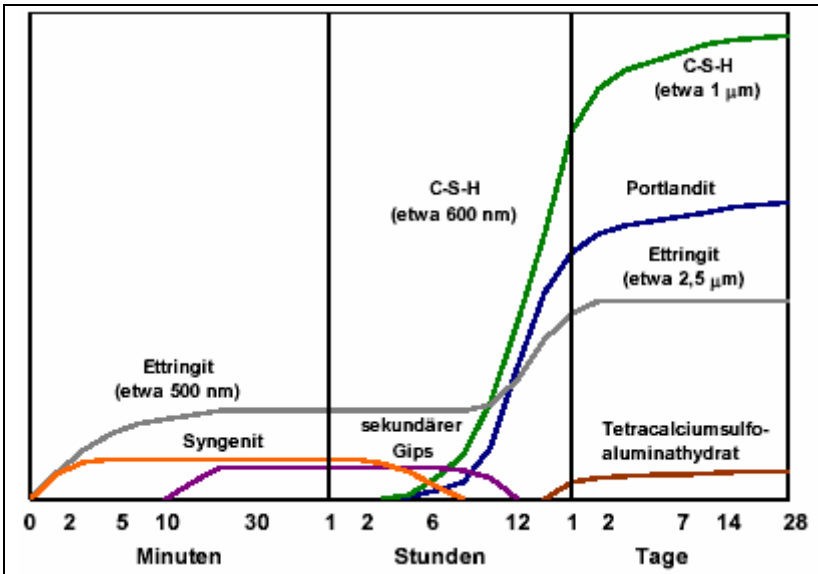
- a már hidratált cement és az összes cement tömegének hányadosát;
- a hidratáció során az adott időpontig fejlesztett hő és a teljes hidratációs hőfejlesztés hányadosát;
- az adott időpontig kémiailag kötött víz és a teljes hidratációhoz tartozó kötött víz tömegének hányadosát;
- az adott időpontig keletkezett kalcium-hidroxid és a hidratáció végéig fejlesztett kalcium-hidroxid mennyiségének hányadosát;
- a szilárdság és végszilárdság hányadosát;

- a zsugorodás és a hidratáció végéig fellépő zsugorodás hányadosát (*Adam*, 2006; *Nothnagel,* 2007).

A hidratáció hőfejlődéssel járó, exoterm folyamat, a fejlődött hő a hidratációhő, amelynek mennyisége a cement összetételétől függ. A klinkerásványok közül legnagyobb a trikalcium-aluminát, legkisebb a dikalcium-szilikát hidratációhője. A cement kiegészítő anyagok ❖ csökkentik a portlandcementek ❖ hidratációhőjét, az aluminátcementek ❖ hidratációhője a portlandcementekénél nagyobb. Nyári betonozásnál és különösen tömegbetonok ❖ esetén fontos a mérsékelt hőfejlesztésű cementek alkalmazása, mert a nagy hőfejlesztésű cementek nyáron a beton szilárdulási ütemét gyorsítják, konzisztenciáját szárazabbá teszik, vízigényét megnövelik, a tömegbetonok esetén pedig egyenetlen keresztmetszeti felmelegedést okoznak, húzófeszültségeket ébresztenek, és mindkét esetben a beton zsugorodását ❖ és repedésérzékenységét ❖ növelik.

A hidratáció sebessége és a hőfejlődés nem egyenletes:

- Az első szakasz nagy hőfejlődéssel jár és rövid ideig, legfeljebb 15 percig tart. Megkezdődik az elsődleges ettringit képződés. A pH értéke 12,3 fölé emelkedik;
- Ezt követi a lassú hőfejlődéssel járó, néhány órán át tartó második szakasz, amely lehetővé teszi a friss beton bedolgozását, mert ezalatt a beton még alakítható. A második szakasz lényegében a Vicat-féle kötési idő ❖ végéig tart;
- A víz hozzáadásától számított 4-8 óra múlva kezdődik a nagy hőfejlődéssel járó harmadik szakasz, amikor a kristálymagok növekedni kezdenek. Megindul a kalcium-szilikát-hidrátok és a kristályos kalciumhidroxid (portlandit) képződése, és folytatódik az elsődleges ettringit képződés. Kialakul a korai szilárdság;
- A negyedik szakaszban lassul, de még sokáig tart a hidratáció, és csökken a hőfejlődés. Folytatódik a kalcium-szilikát-hidrátok és a portlandit képződése. Kb. 1 napos korban elkezdődik a *monoszulfát* (tetrakalcium-szulfo-aluminát-hidrát képződés. Az erőteljes szilárdulás általában 28 napos korig tart. Lásd a *7.* és a *8. ábrát*;
- Ezt a szakaszt az éveken át tartó utószilárdulás követi. (*Talabér*, 1966; *Riesz*, 1989; *Adam*, 2006.)



7. ábra: Hidrátfázisok kialakulása a hidratáció során

Minuten = percek

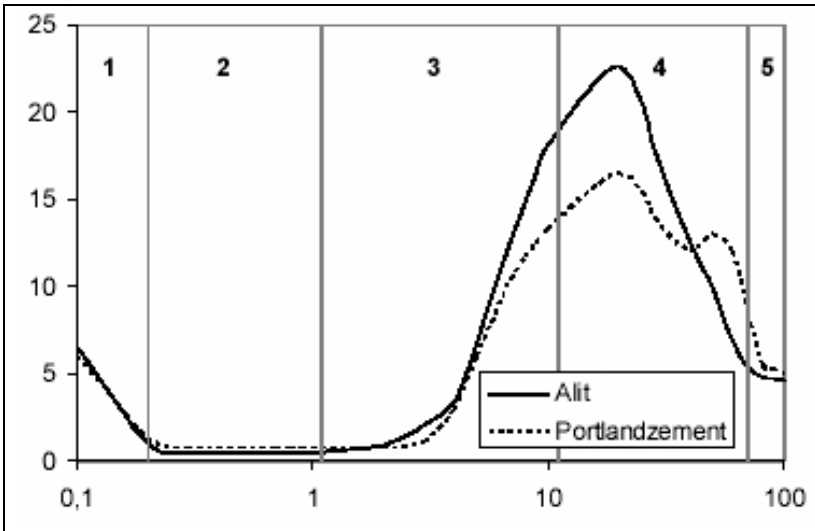
Stunden = órák

Tage = Napok

C-S-H = Kalcium-szilikát--hidrátok

Syngenit = Kalium--kalcium-szulfát-hidrát ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$)

Forrás: *Adam*, 2006, ill. *Stark* et al., 2003.



8. ábra: Hőfejlődés a hidratáció során

A függőleges tengelyen a hőfejlődés J/(g·h) mértékegységben

Vízszintes tengelyen az idő órákban

Forrás: *Adam*, 2006, ill. *Stark* et al., 2000.

A hidratációs termékek képződése a következő hőfejlődéssel jár:

$3CaO{\cdot}2SiO_3{\cdot}4H_2O$ képződése alitból:	520 J/g
$3CaO{\cdot}2SiO_3{\cdot}4H_2O$ képződése belitből:	260 J/g
$3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}CaO{\cdot}SiO_3{\cdot}12H_2O$ képződése felitből:	1140 J/g
$3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}3CaO{\cdot}SiO_3{\cdot}32H_2O$ képződése felitből:	1670 J/g
$4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}13H_2O$ képződése felitből:	1160 J/g
$4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}13H_2O + 4CaO{\cdot}Fe_2O_3{\cdot}13H_2O$ képződése celitből:	420 J/g
$Ca(OH)_2$ képződése szabad kalcium-oxidból:	1150 J/g
$Mg(OH)_2$ képződése szabad magnézium-oxidból:	840 J/g

A különféle típusú cementek hidratációs hőfejlesztése a következő:

Portlandcement:	375 - 525 J/g
Kohósalakportlandcement:	355 - 440 J/g
Traszportlandcement:	315 - 420 J/g
Olajpalaportlandcement (Baden-Württemberg tartományban gyártják):	360 - 480 J/g
Aluminátcement, például bauxitcement (lásd lejjebb):	545 - 585 J/g

A portlandcement hidratációja során le nem kötött kalciumhidroxid (portlandit) keletkezik, amely a betonnak lúgos kémhatást (pH ~ 13) kölcsönöz. A le nem kötött (szabad) kalciumhidroxidot a víz oldja, ezért az a felületen kivirágzás alakjában megjelenhet. (Ennek megelőzésére például a nagytartósságú – nagy teljesítőképességű – felszerkezeti hídbetonokra vonatkozó ÚT 2-3.423 útügyi műszaki előírás 2008. évi tervezete a felhasználható portlandcement le nem kötött kalciumhidroxid-tartalmát 1,5 tömeg%-ban korlátozza.) A levegővel érintkező beton felületi rétegében viszont a kalciumhidroxid a levegő széndioxid-tartalmával reakcióba lép, és eleinte kalcium-hidrokarbonáttá, majd vízvesztéssel kalciumkarbonáttá (mészkővé) alakul. Ez a jelenség a *karbonátosodás* ❖, amely a beton vagy a cementhabarcs esetén a kapillárisok elzáródása és a szilárdság növekedése szempontjából kedvező, vasbeton vagy feszített vasbeton esetén viszont a lúgos kémhatás megszűnése folytán az acélbetét korróziója szempontjából kedvezőtlen. Ez utóbbi adja a kellő betonfedés ❖ jelentőségét.

A le nem kötött kalciumhidroxid nem tévesztendő össze a cementben esetleg megtalálható szabad kalciumoxiddal, amely a betonban kalciumhidroxiddá beoltódva duzzadáshoz ❖ és repedések keletkezéséhez vezethet (*mészduzzadás*). A klinkerásványok között szabad magnéziumoxid (periklasz) is található, amely nagyobb mennyiségben duzzadó hajlamú cementet adhat (*magnéziaduzzadás*). (*Palotás*, 1979)

Az MSZ EN 197-1:2000 szerint a cement *kloridtartalma* az acélbetét korróziómentessége érdekében általában ne legyen több, mint 0,1 tömeg%.

A kötés szabályozása céljából a portlandcementhez a gyártás során ❖ mintegy 3 tömeg%-ban kalcium-szulfátot (Kötőanyagok I. ❖) adnak természetes gipszkő, anhidrit, félhidrát, vagy mesterséges REA-gipsz (**R**auchgas-**E**ntschwefelungs-**A**nlagen: füstgáz kéntelenítő berendezés az erőművekben) alakjában. Ugyanakkor a cement, illetve a beton túlzott szulfáttartalma másodlagos ettringit *képződés* („cementbacilus") folytán duzzadást (*ettringit-szulfátkorrózió,* szulfátduzzadás) okozhat, amelyet emiatt korlátozni kell. A portlandcement megengedett *szulfáttartalma* SO_3-ban kifejezve az MSZ EN 197-1:2000 szerint a 32,5 N, 32,5 R és 52,5 N szilárdsági osztályban 3,5 tömeg%, a 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R szilárdsági osztályban és a CEM III cementfajta esetén általában 4,0 tömeg%. A monoszulfát hidráttermék ettringitté átalakulását külső körülmények (például szulfátos talajvíz) is befolyásolhatják. Szulfátos talajvíz hatására duzzadással kísért másodlagos ettringit képződés indul el. A ferritben dús, trikalcium-aluminátban szegény cement a szulfátkorrózióra kevésbé érzékeny. (*Riesz*, 1989)

A taumazit – amely a természetben is előforduló ásvány: $CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$ – a másodlagos ettringithez hasonlóan duzzadást és repedést okoz, továbbá a szilikátos hidráttermékek kötőerejét megszünteti („cementvírus", *taumazit-szulfátkorrózió* ❖, TSA: Thaumasite Sulphate Attack). A taumazit betonban kalcium-szilikátokból vagy ettringit közbejöttével kalcium-aluminátokból jöhet létre, elsősorban áramló, szulfáttartalmú talajvizek jelenlétében, karbonátos adalékanyag esetén, 15 °C hőmérséklet alatt, de a cement mennyiségétől és minőségétől, a beton minőségétől, geometriájától, környezeti helyzetétől stb. is függően. (*Révay – Laczkó*, 2006)

A beton alkálifém-oxid reakciójának ❖ elkerülésére a cement *alkálifém tartalmát* szintén korlátozni kell. Kis alkálifém-tartalmúaknak azokat a tiszta portlandcementeket és 50 tömeg%-nál kevesebb kiegészítő anyagot tartalmazó heterogén portlandcementeket tekintik, amelyek nátriumoxid egyenértéke (Na_2O tartalom + $0{,}658 \cdot K_2O$ tartalom) a 0,6 tömeg%-ot nem haladja meg.

Aluminátcement hidratációja

Az aluminátcement (például bauxitcement, bauxitbeton ❖) hidratációja során különböző kalciumhidroaluminátok képződnek, amelyek kezdőszilárdsága és hőfejlesztése jelentős, de idővel elsősorban nedvesség és viszonylag nagyobb hőmérséklet (25-30 °C) hatására lassan leépülnek, szilárdságukat általában jórészt elvesztik. A szilárdságvesztés annak a következménye, hogy az átalakult stabil kalciumhidroaluminátok térfogata kisebb, mint a kezdeti instabil kalciumhidroaluminát hidratációs termékeké, ezért kialakulásuk a cementkő porozitásának növekedésével jár. Az instabil kalciumhidroaluminát általában a C_4AH_n ($n \sim 12\text{-}14$) szimbólummal írható le, stabil változatnak a szabályos rendszerű C_3AH_6 tekinthető. (*Palotás*, 1979)

Bauxitcementet Magyarországon, Tatabánya-Felsőgallán 1928 és 1949 között gyártottak, a bauxitbetonból készült építmények nagy részét 1990-ig feltárták, de felújítások, átalakítások során még napjainkban is felbukkannak.

Cementkőben lévő vizek megnevezése (*Adam*, 2006)

Szabad víz (*pórus víz*) folyékony állapotban található a cementkő pórusaiban. A hidratálatlan cemek szemek hidratációjához szükséges víz forrása.

Fizikailag kötött víz a hidratációs termékek, elsősorban a gélpórusok szabad felületén található víz. A mennyisége és rétegvastagsága a belső vízgőznyomástól függ. Mennél nagyobb a határfelület és a relatív vízgőznyomás, annál több a fizikailag kötött víz mennyisége.

Kémiailag kötött víz a hidratációs termékek kristály és rétegközi vize. Minthogy a fizikailag és kémiailag kötött víz közötti határ pontosan nem definiálható, azt a vizet szokták kötött víznek tekinteni, amely 11 % relatív nedvességtartalmú térben, 25 °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítva még a cementkőben marad. (Fontos megjegyzés: Ne tévesszen meg bennünket, hogy az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a beton hidrotechnikai tulajdonságait (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítva kell vizsgálni.)

Adszorpciós víz, amelyet elektrosztatikus vagy Van der Waals erők kötnek a határfelülethez. (A *Van der Waals* összetartó erő nagyon gyenge.) Mennél nagyobb a távolság az adszorpciós réteg és a határfelület között, annál kisebb a kötési energia. A fizikailag kötött víz nagy részét az adszorpciós víz teszi ki.

Adhéziós víz a fizikailag kötött víz része. A vízmolekulák a molekulaközi kölcsönhatás folytán tapadnak a határfelületre.

Kapilláris víz a kapilláris erők hatására a pórusokban, a hidratációs termékek között található. A kötési energia a kapilláris átmérőjével fordítottan arányos. A kapilláris vizet lényegében a szabad vízhez kell számítani.

Rétegközi víz kémiailag kötött és adhéziós állapotban található a kalcium-aluminát-hidrát és kalcium-aluminát-szulfát-hidrát fázisok között. Szárítás során általában a szövetszerkezet rombolása nélkül távozik a cementkőből.

Elgőzölhető víz fagyasztásos szárítás vagy 105 °C hőmérsékleten történő szárítás során a cementkőből távozik. Beleértendő a szabad pórus víz, az adszorpciós (fizikailag kötött) víz és egy része a kémiailag kötött víznek.

El nem gőzölhető víz az elgőzölhető víz távozása után a cementkőben marad. Általában az 1000 °C hőmérsékleten meghatározott izzítási tömegveszteséggel fejezik ki, a szén-dioxid tartalom figyelembevételével. Az el nem gőzölhető víz valamivel kevesebb, mint a kémiailag kötött víz.

Felhasznált irodalom

MSZ EN 197-1:2000 — Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosították MSZ EN 197-1:2000/A1:2004. szám alatt

Adam, Th.: — Ein modell zur Beschreibeng der Hydratation von Beton in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt. Akadémiai doktori értekezés. Technische Universität Darmstadt, 2006.

Dolezsai Károly – Pauka Imre: — Cementgyártás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1964.

Nothnagel, R.: — Hydratations- und Strukturmodell für Zementstein. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig. Heft 200. 2007.

Palotás László: — Fa – kő – fém – kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.

Powers, T. C.: — A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete. Proceedings Highway Research Board 27. 1947. pp. 178-188.

Powers, T. C. – Brownyard T. L.: — Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. Journal of the American Concrete Institute, Proc. 43 (1947); Bulletin 22, Research Laboratories of the Portland Cement Association, Chicago, 1948.

Powers, T. C.: — The non-evaporable water content of hardened Portland-cement paste – its significance for concrete research and its method of determination. ASTM Bulletin 158. 1949. pp. 68-76.

Powers, T. C. – Helmuth, R. A.: — Theory of Volume Changes in Hardened Pordland Cement Paste during Freezing, Proc. Highway Research Board 32, pp. 285, 1953.

Révay Miklós – Laczkó László: — A taumazit-szulfátkorrózió (Monográfia és a szakirodalom kritikai elemzése) Építőanyag. 58. évfolyam, 2006. 2. szám, pp. 47-53.

Riesz Lajos (szerk.): — Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.

Schwenk Zement KG: — Betontechnische Daten. Ulm, 2006.

Stark, J. – Wicht, B.: — Zement und Kalk. Der Baustoff als Werkstoff. Birkhäuser Verlag. Basel, 2000

Stark, J. – Möser, B. – Eckart, A.: — Zementhydratation – neue Ansätze. ZKG International, 01/2001 és 02/2001.

Stark, J. – Möser, B. – Bellmann, F.: Ein neues Modell der Zementhydratation. Proceedings „15. Internationale Baustofftagung ibausil”. Weimar, September 2003. S. 1/0015-1/0031.

Talabér József (szerk.): Cementipari Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.

vdz. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Forschungsinstitut der Zementindustrie: Zement-Taschenbuch. 51. Ausgabe. Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf, 2008.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. március havi számának 16-18. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

Víz-cement tényező, víz/cement tényező

Németül:	Wasserzementwert, Wasserzementfaktor, w/z-Wert
Angolul:	Water/cement factor, Water-cement ratio
Franciául:	Rapport eau/ciment, rapport E/C

A víz-cement tényező a friss beton víz- és cementtartalmának tömegaránya, amely a beton nyomószilárdságának meghatározója. *Abrams* (1918) ❖ „víz-cement tényező – nyomószilárdság” törvénye a betontechnológia legalapvetőbb anyagtani szabálya, amelynek eredeti alakja:

$$K = \frac{A}{B^x}$$

ahol K a beton nyomószilárdsága, x a víz-cement tényező, „A” és „B” függvényállandók.

Az *Abrams*-féle törvény *Hummel* (1959) megfogalmazásában így szól: „A valamely keverési arány mellett még jól bedolgozható földnedves (inkább kissé képlékeny) friss beton keveréket eredményező víz-cement tényezőt tekintve, a cementkő, a cementhabarcs és a beton nyomószilárdsága ❖ a víz-cement tényező növekedésével rohamosan csökken, miközben csökken a hajlító-húzószilárdság ❖, a kopásállóság ❖ és a rugalmassági modulus ❖, és növekszik a zsugorodás ❖”. A szilárdságcsökkenés magyarázata, hogy a víz-cement tényező növekedésével a cementkő pórustartalma növekszik.

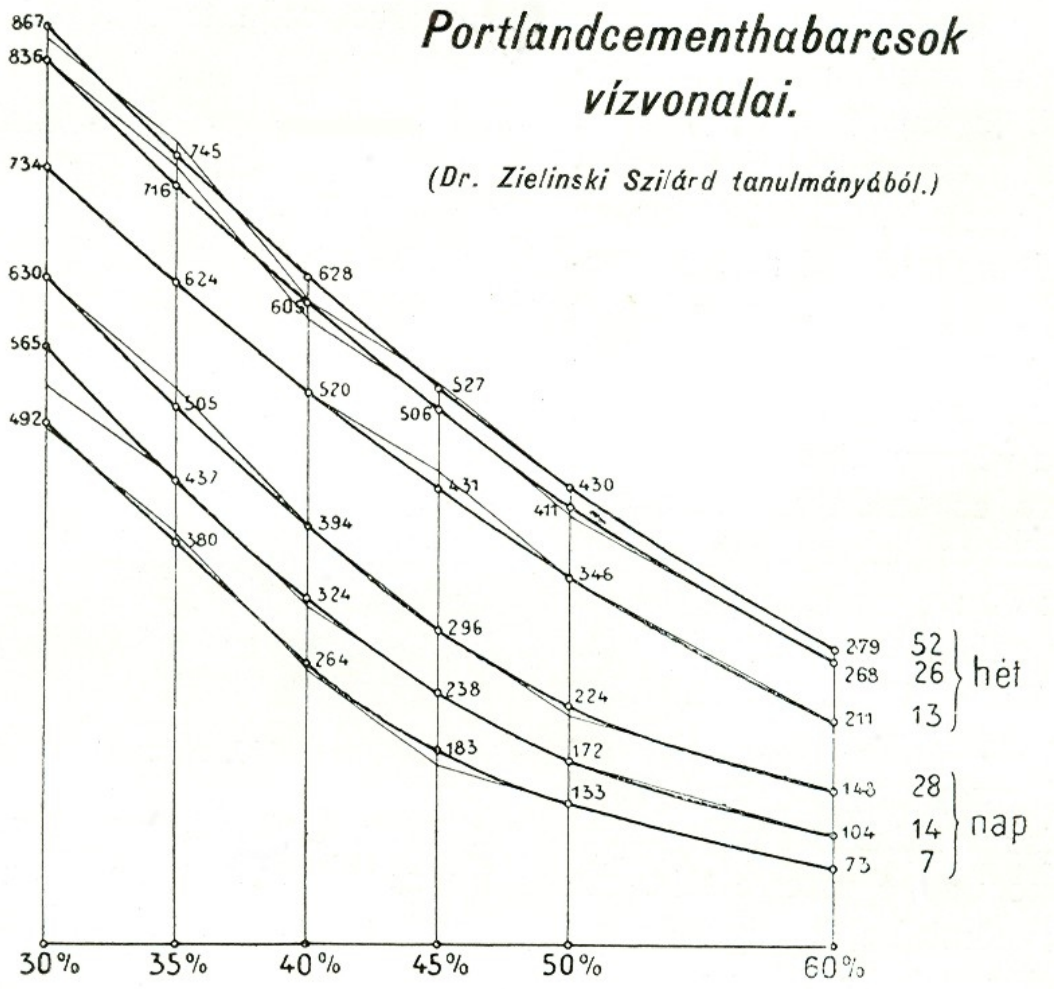
1. Megjegyzés: A friss beton víztartalma a keverővíznek és az adalékanyag felületi nedvességének összege, ahol az adalékanyag felületi nedvessége az adalékanyag nedvességtartalmának és fél- vagy egyórás vízfelvételének különbsége, amely szükség esetén a párolgási veszteséggel csökkentendő. Ezt a víztartalmat, ill. az ebből meghatározott víz-cement tényezőt az MSZ EN 206-1:2002 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány *hatékony víztartalomnak*, ill. víz-cement tényezőnek nevezi.

2. Megjegyzés: Ha egy teljesen hidratált cementkő ❖ víztartalma 29,6 tömeg%, akkor a cementtartalma 100 – 29,6 = 70,4 tömeg%, és a víz-cement tényezője x = 29,6/70,4 = 0,42 (*tömegarány*). Ha ez a víztartalom teljes egészében gélvíz – amely nem csak el nem gőzölhető, hanem elgőzölhető vizet is tartalmaz – és ennek sűrűsége a gélpórusokban uralkodó nyomás folytán $\rho_{\text{gélvíz}}$ = 1,35 g/cm^3, továbbá a cement anyagsűrűsége ρ_{cement} = 3,125 g/cm^3, akkor az x = 0,42 értékű víz-cement tényező $x\cdot(\rho_{\text{cement}}/\rho_{\text{gélvíz}}) = 0{,}42\cdot(3{,}125/1{,}35) = 0{,}42\cdot 2{,}315 \approx 0{,}972$ víz-cement *térfogataránynak* felel meg, azaz a teljesen hidratált cementkőben a gélvíz $V_{\text{gélvíz}} = 100\cdot x/(x + (\rho_{\text{gélvíz}}/\rho_{\text{cement}}))$ = = 49,3 térfogat% helyet foglal el.

Powers és *Brownyard* (1948) kimutatta (cement hidratációja ❖), hogy a teljes hidratációhoz szükséges 26 tömeg% kémiailag kötött vízmennyiség elvi adat, mert a hidratációs termékek helyigénye több mint a hidratálatlan cementé, és a helyszükséglet gyakorlatban csak 0,42 értékű víz-cement tényező mellett biztosított. (A kettő különbsége 16 tömeg%, ez elgőzölhető víz.)

Hazánkban először *Zielinski* (1901, 1909) ❖, az *Anyagvizsgálók Magyar Egyesületében* végzett kísérleteinek eredményei alapján hívja fel a figyelmet a víz-cement tényező jelentőségére. Közöl egy ábrát (*1. ábra*), amelyen 0,3 és 0,6 közötti víz-cement tényezők függvényében a 7, 14, 28 napos és 13, 26, 52 hetes portlandcement-habarcsok szilárdságát

tünteti fel, és megállapítja, hogy „a beton szilárdulásának fejlődése általában apad a víz mennyiségének fokozásával” (*Lampl* és *Sajó*, 1914).



1. ábra: *Zielinski Szilárd* 100 éves ábrája „A román- és portlandcementek szilárdulása pépben, habarcsban és betonban” című, Budapesten, 1909-ben megjelent tanulmányában. Forrás: *Lampl* és *Sajó*, 1914. A vízszintes tengelyen a száraz anyagra (cement + homok) vonatkoztatott víztartalmat ábrázolták tömeg%-ban, a függőlegesen a nyomószilárdságot kg/cm^2 mértékegységben.

Palotás ❖ az Építési Zsebkönyvben (1934), majd a Minőségi beton c. könyvben (1952) arról ír, hogy a víz-cement tényezőnek elsőrangúan fontos szerepe van a beton szilárdságára. *Feret* (1892), *Abrams* (1918), majd *Bolomey* (1926) és *Graf* (1939), valamint mások kísérletei szerint a beton nyomószilárdságát azonos kísérleti feltételek mellett egyedül a vízmennyiség szabja meg, tekintet nélkül az alkalmazott cementmennyiségre, ha – teszi hozzá *Abrams* – a beton bedolgozhatóan képlékeny (plasztikus), vagy más szóval: az azonos víz-cement tényezővel készült, bedolgozhatóan képlékeny betonokat gyakorlatilag azonos szilárdság jellemezi. A víz-cement tényező növelésével rohamosan csökken a szilárdság. Természetes tehát a törekvés a víz-cement tényező csökkentésére, amelynek egyik hatásos, de a gazdaságosságra és a beton más tulajdonságaira (zsugorodás) is hátrányos módja a cementmennyiség növelése. Gyakorlatilag célravezetőbb mód a szemmegoszlás helyes megválasztása (és korunkban folyósító adalékszer alkalmazása). Képlékeny és öntött keverékre az SI mértékegységrendszerben *Abrams* víz-cement tényező összefüggése: $K \approx 0{,}1 \cdot A/B^x$, *Graf* összefüggése 600 kísérlet alapján (1950): $K \approx 0{,}1 \cdot A/x^2$, *Bolomey* összefüggése: $K \approx 0{,}1 \cdot A(x^{-1} - 0{,}5)$, ahol K a beton kockaszilárdsága N/mm^2-ben, x a víz-cement tényező,

„A” és „B” az esetenként (általában a cement-féleség függvényében) meghatározandó függvényállandó.

Elsősorban a földnedves betonok esetén, de a beton konzisztenciájától függetlenül is előnyösen használható a beton várható szilárdságának előrebecslésére a *víz-levegő-cement tényező*, amely a cementkő teljes jellemzését adja: $r = (M_{Víz} + V_{Levegő})/M_{Cement}$), ahol az M tömeg kg-ban, a V térfogat literben értendő. Az r víz-levegő-cement tényező az x víz-cement tényező és a levegő-cement tényező ($l = (V_{Levegő})/M_{Cement}$) összege, amely utóbbi a cementkő porozitását fejezi ki azzal, hogy a cement tömegegységére eső pórustérfogatot adja meg (*Palotás*, 1938, 1952).

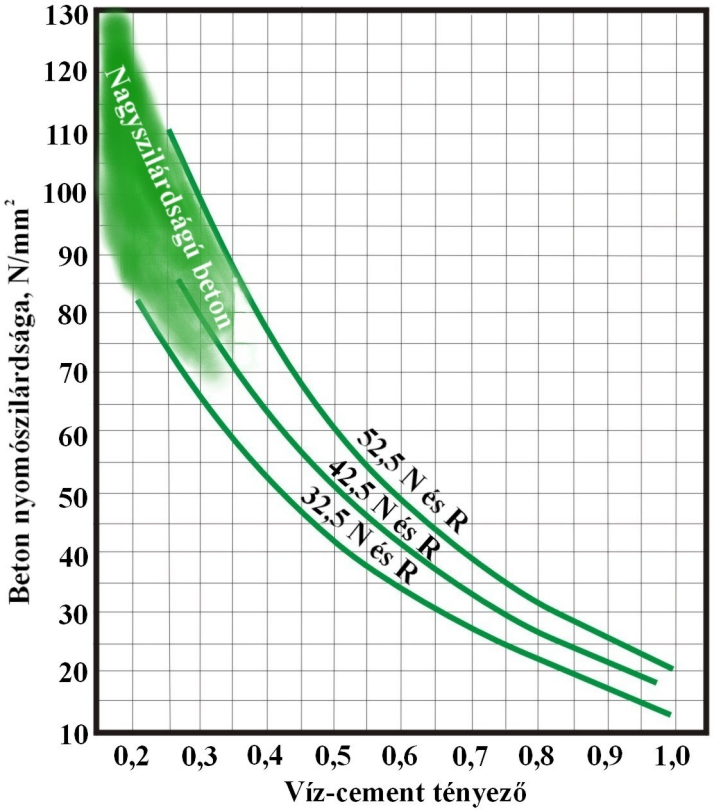
Weisz (1952) az *Abrams*-féle víz-cement tényező törvényt közérthetően így magyarázza: „Ha ugyanis a víz-cement tényező növekszik, akkor a cement kötése szempontjából felesleges vízmennyiség is növekszik, ennek a víznek a betonból el kell párolognia, és helyén pórusok keletkeznek, amelyek a beton szilárdságát rontják. Így tehát a víz-cement tényező a beton pórustartalmának közvetlen mérőszáma minden olyan esetben, amikor a beton oly tömören bedolgozható, hogy a fölös víz helyén keletkező pórusokon kívül csak lényegtelen mennyiségű pórus marad a betonban. Ezért a víz-cement tényező csak a kis levegőtartalmú képlékeny betonok hézagtérfogatára jellemző. A fölös víz helyén visszamaradó pórusokon kívül egyéb pórust is tartalmazó földnedves betonok jellemzésére a víz-levegő-cement tényezőt kell használni.”

Palotás (1979) szerint a cementkő egyensúlyi állapotához tartozó *egyensúlyi víz-cement tényező* (x_e) a tényleges, kezdeti víz-cement tényező (x_k) függvényében az $x_e = 0{,}281 + 0{,}1 \cdot x_k$ összefüggéssel fejezhető ki, ha a hidratációs fok 0,85, a levegő relatív nedvességtartalma 70 %, a telített cementkő maximális gélvízmennyiségére vonatkoztatott, a relatív nedvességtartalom függvényét képező gélvízmennyiség 0,7; és a telített cementkő maximális kapilláris vízmennyiségére vonatkoztatott, a relatív nedvességtartalom függvényét képező kapilláris víz 0,1. Ebben az esetben a friss és a megszilárdult beton testsűrűségének különbsége az elpárolgott víz mennyiségével kifejezve: $\Delta\rho_{beton} = (M_{Vk} - M_{Ve}) = M_C \cdot (x_k - x_e) = = M_C \cdot (0{,}9 \cdot x_k - 0{,}281)$, azaz például, ha a cementtartalom $M_C = 300$ kg/m^3 és a kezdeti víz-cement tényező $x_k = 0{,}4$, akkor az egyensúlyi víz-cement tényező $x_e = 0{,}321$, valamint a friss és a megszilárdult beton testsűrűségének különbsége $\Delta\rho_{beton} = (M_{Vk} - M_{Ve}) = 300 \cdot (0{,}4 - - 0{,}321) = 23{,}7$ kg/m^3.

Általában feltételezhető, hogy $x_k = 0{,}35$-$0{,}60$ közötti kezdeti víz-cement tényező esetén az egyensúlyi víz-cement tényező értéke $x_e = 0{,}316$-$0{,}341$. Eszerint az egyensúlyi víz-cement tényező alig függ az adagolt keverővíz mennyiségétől, azaz a gélpórusok ❖ mennyisége a víz-cement tényezőtől alig, inkább csak a hidratációs foktól ❖ függ. Ezzel szemben a kapillárpórusok ❖ mennyiségét a víz-cement tényező jelentősen befolyásolja. Ez arra is figyelmeztet, hogy a kezdetben kiszáradni hagyott cementkő, illetve beton szilárdsága nem fogja elérni a megkívánt mértéket.

A víz-cement tényező törvény kiegészíthető *Abrams* másik nagyjelentőségű tételével is, amely kimondja, hogy az azonos finomsági modulusú ❖, legnagyobb szemnagyságú ❖, finomhomok tartalmú adalékanyagok azonos körülmények között, azonos konzisztencia ❖ eléréséhez lényegében azonos víz-cement tényezőt kívánnak. Kimutatták, hogy ez a törvényszerűség nem csak folyamatos, hanem lépcsős szemmegoszlás ❖ esetén is fennáll, sőt egylépcsős szemmegoszlás esetén kevesebb vízzel érhető el ugyanazon folyósság, és a bedolgozhatóság is jobb (*Palotás* 1952, *Weisz* 1952). Tapasztalat, hogy a bedolgozhatósághoz szükséges víz-cement tényező zúzottkő adalékanyag esetén 5-10 %-kal nagyobb, mint homokos kavics adalékanyag esetén.

A víz-cement tényező és a betonnyomószilárdság összefüggését különböző DIN EN 197 szabvány szerinti cementfajták esetére grafikusan *Walz* ábrázolta (*2. ábra*).

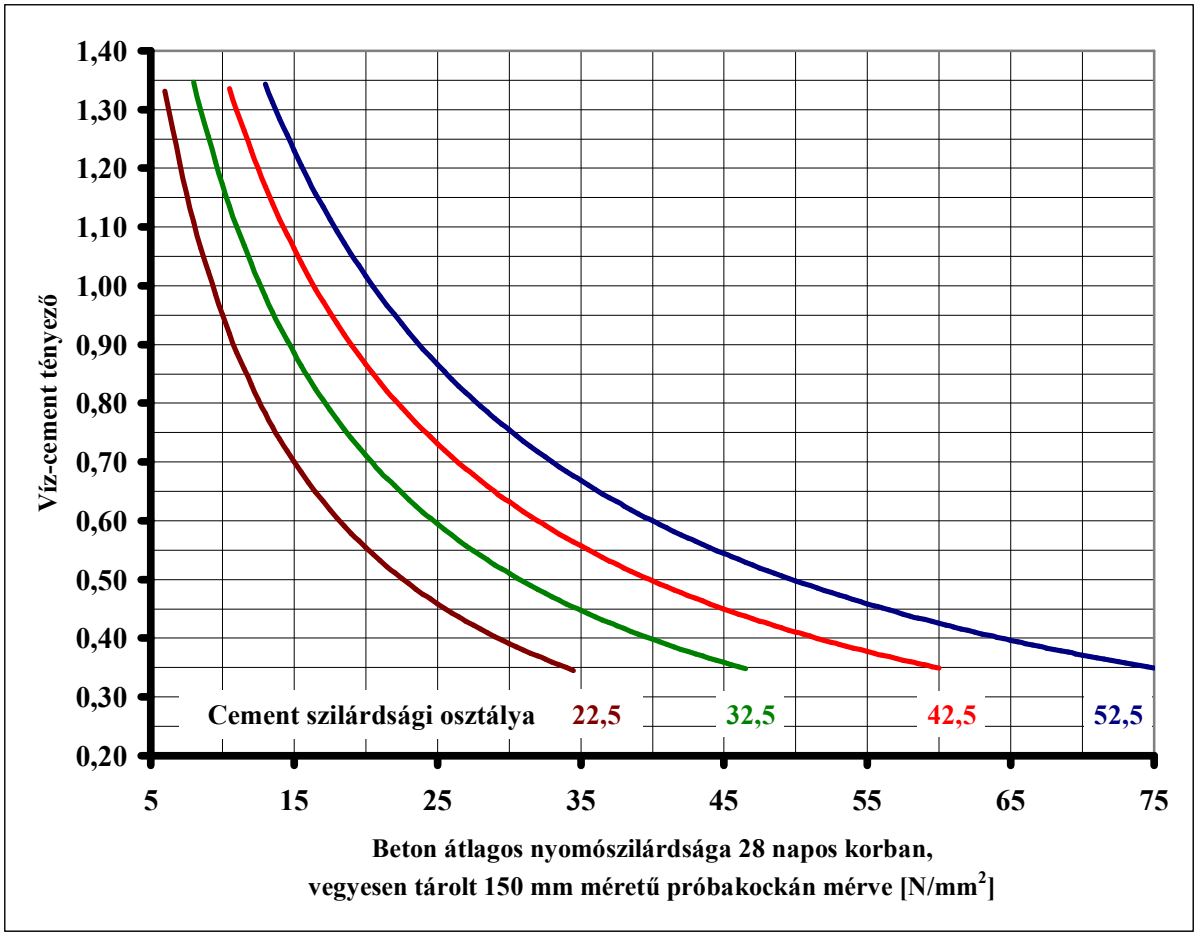


2. ábra: A víz-cement tényező és a beton nyomószilárdságának összefüggése *Walz* szerint
Forrás: http://www.heidelbergzement.de

Hazai gyakorlatban az alkalmazandó víz-cement tényezőt (x) a beton tervezett átlagos, 28 napos nyomószilárdságának (K) függvényében, például a *Bolomey-Palotás*-féle összefüggés alapján (*Palotás*, 1980) szoktuk meghatározni:

$$x = \frac{1}{\frac{R}{A} + 0{,}3}$$

ahol R a beton 200 mm méretű, vegyesen tárolt, 28 napos korú próbakockán értelmezett, N/mm^2-ben kifejezett átlagos nyomószilárdsága, és az „A” értéke CEM 52,5; CEM 42,5; CEM 32,5; CEM 22,5 szilárdságú cement esetén rendre 27,5; 22,0; 17,0; 12,5. Az R nyomószilárdságot a beton ma használatos jeléből az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD N2. táblázatából kapjuk meg (*3. ábra*).



3. ábra: A víz-cement tényező a beton nyomószilárdságának függvényében a *Bolomey-Palotás*-féle összefüggés alapján

Ujhelyi (2005) összehasonlította *Feret*, *Powers*, *Abrams*, *Bolomey* különböző alakú víz-cement tényező és nyomószilárdság összefüggését, és megállapította, hogy a különböző becslő képletekkel különböző beton nyomószilárdságokat lehet kapni, és az eltérés szélső esetben 8-12 N/mm^2 is lehet. Az eltéréseket a felhasznált cementek különböző vízérzékenységének tulajdonítja. A cementek vízérzékenysége alatt *Ujhelyi* azt érti, hogy különböző cementfajták a különböző vízadagolások (különböző víz-cement tényezők) mellett eltérő módon viselkednek, például vannak cementek amelyek szilárdsága nagyobb vízadagolás mellett gyorsabban csökken, mint más cementeké, és fordítva. A cement vízérzékenységének hatását 0,35; 0,55 és 1,0 értékű víz-cement tényezővel végzett betonkísérletekkel meghatározott függvényparaméterek („n”, „A”, „B”) alkalmazásával lehet kiküszöbölni az *Abrams*-féle összefüggésből továbbfejlesztett függvény segítségével, amelynek alakja:

$$f_{cm,H} = A \cdot e^{-B \cdot x^n}$$

ahol $f_{cm,H}$ a beton vegyesen tárolt, 3 db 150 mm méretű próbakockán meghatározott, 28 napos átlagos nyomószilárdsága és x a víz-cement tényező.

A víz-cement tényező nem csak a beton szilárdságát, hanem szilárdulási sebességét is befolyásolja. A szilárdulási sebesség a felhasznált cement fajtájától és a víz-cement tényezőtől függ; minél több aktív kiegészítő-anyagot tartalmaz a cement és minél nagyobb a víz-cement tényező, annál lassúbb a szilárdulás (MSZ 4798-1:2004).

A trasz, hidraulikus kohósalak, savanyú (ritkán bázikus) pernye, savanyú szilikapor kiegészítőanyagokat (az ún. II. típusú kiegészítőanyagokat) a víz-cement tényezőben akkor szabad számításba venni, ha puccolános (pl. trasz) vagy rejtett hidraulikus (pl. kohósalak, pernye, szilikapor) tulajdonságukat kísérletekkel megállapították. Ebben az esetben a víz-cement tényező helyettesíthető a „víz/(cement + *k*·kiegészítőanyag) tényező”-vel. A „víz/(cement + *k*·kiegészítőanyag) tényező” ne legyen nagyobb, mint az adott környezeti osztályra az MSZ 4798-1:2004 szabványban előírt legnagyobb víz-cement tényező. A „*k-érték*” felvételéről az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány intézkedik az 5.2.5.2. szakaszban:

- legfeljebb 0,33 pernye/cement tömegarány és CEM I 32,5 típusú cement esetén k = 0,2;
- legfeljebb 0,33 pernye/cement tömegarány és CEM I 42,5 vagy CEM I 52,5 esetén k = 0,4;
- legfeljebb 0,11 szilikapor/cement tömegarány esetén k = 2,0,
- legfeljebb 0,11 szilikapor/cement tömegarány esetén a 0,45 értéknél nagyobb víz-cement tényezővel készülő betonok esetén, ha a környezeti osztályuk XC és XF, akkor k = 1,0.

A cementtartalmat a környezeti osztálytól függően pernye kiegészítőanyag alkalmazás esetén legfeljebb *k*·(előírt cementtartalom – 200) kg/m^3 értékkel, szilikapor kiegészítőanyag alkalmazás esetén – ha a megengedett legkisebb tartalom ≤ 300 kg/m^3 – legfeljebb 30 kg/m^3 értékkel szabad csökkenteni.

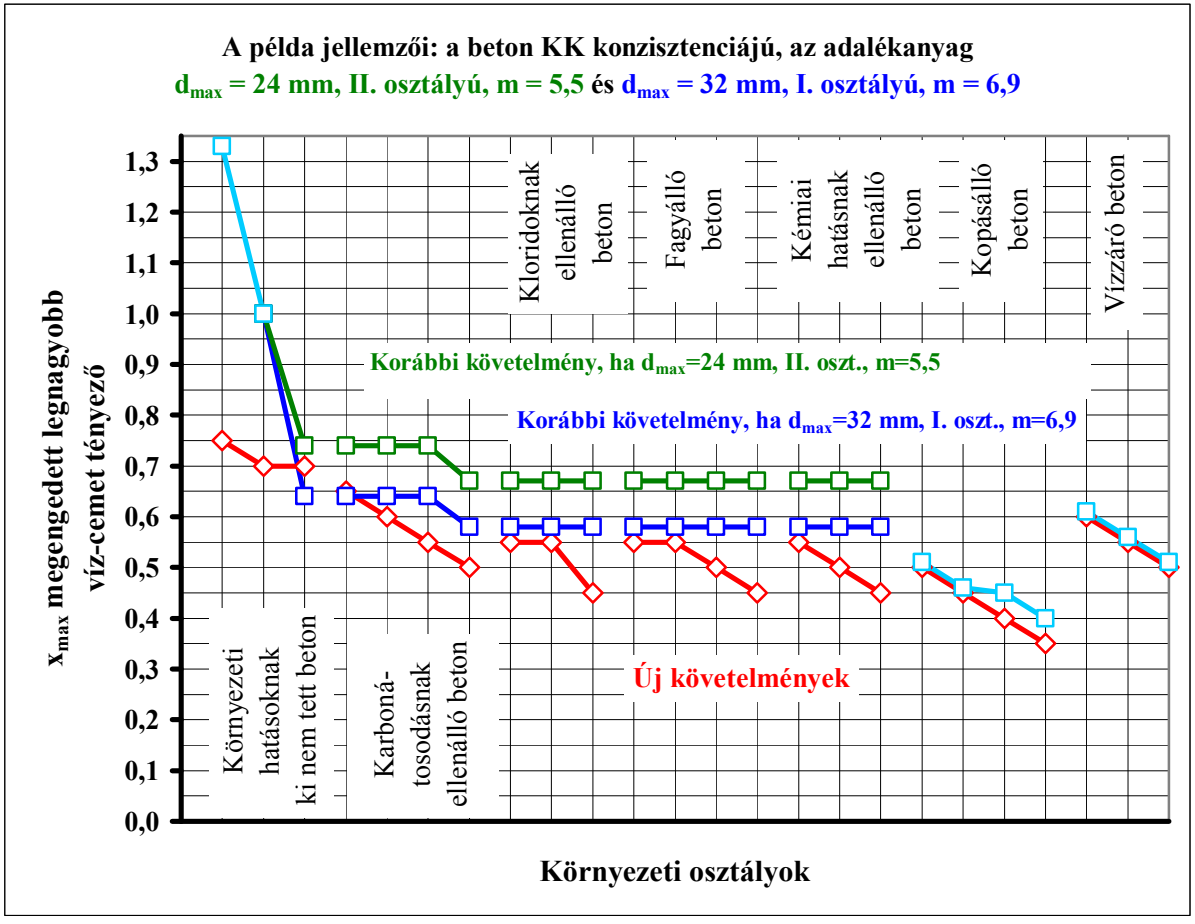
A *kiegészítőanyagok k-érték elvét* ❖ külön szócikkben részletesebben tárgyaljuk.

Az MSZ EN 206-1:2002 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány előírja, hogy ha a folyadékállapotú adalékszer teljes mennyisége 3 liter/m^3 beton értéknél több, akkor annak víztartalmát be kell számítani a víz-cement tényezőbe.

Az MSZ CR 13902:2000 CEN jelentés holland és egyesült királyságbeli tapasztalatok alapján ad módszereket a friss beton víz- és a cementtartalmának vizsgálatára, amelyek eredményéből a friss beton tényleges víz-cement tényezője meghatározható.

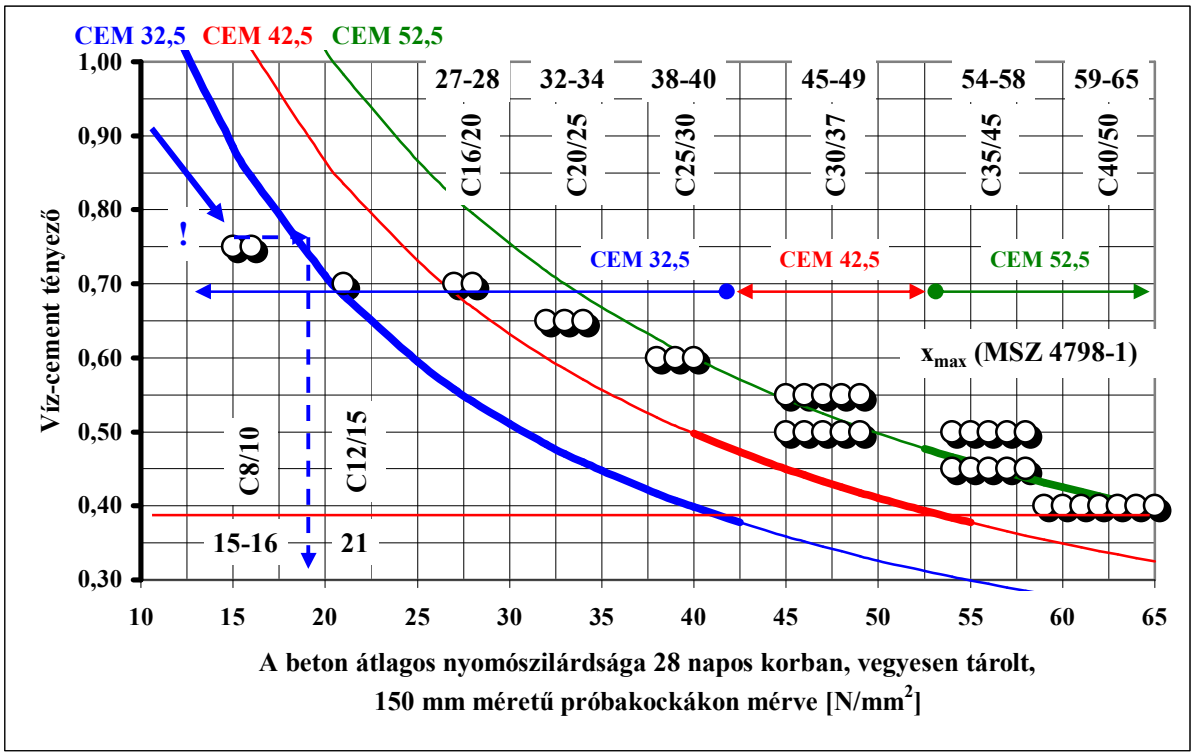
A víz-cement tényező korlátozása a tartós beton készítésének feltétele. Ezért az új betonszabványok (MSZ EN 206-1:2002, MSZ 4798-1:2004) egyéb feltételek mellett környezeti osztályonként ❖ megjelölik azokat a víz-cement tényező határértékeket, amelyek figyelembevételével készített betonok a tervezett 50 év használati élettartam alatt a remények szerint károsodás nélkül viselik a környezeti hatásokat. A víz-cement tényező egyedi értéke a határértéknél legfeljebb 0,02-dal lehet nagyobb.

Az új európai szabványok környezeti osztályaihoz tartozó és e szabványok bevezetését megelőző hazai szabályozás szerinti víz-cement tényező határértékeket a *4. ábrán* vetettük egybe. Az új betonszabványok a környezeti feltételek teljesüléséhez mintegy 0,1 – 0,2 értékkel kisebb víz-cement tényező alkalmazását követelik meg, mint amekkorának az alkalmazását a korábbi nemzeti környezeti követelmények lehetővé tették.



4. ábra: Az új és a régi betonszabványok víz-cement tényező határértékeinek összevetése

Az *5. ábrán* az új környezeti osztályokhoz tartozó beton nyomószilárdságokhoz rendeltük, és a *Bolomey-Palotás*-féle víz-cement tényező függvénysoron ábrázoltuk a víz-cement tényező határértékeket. Az *5. ábrából* az olvasható ki, hogy a CEM 32,5 szilárdsági jelű cementet a C25/30 beton nyomószilárdsági osztályig, a CEM 52,5 szilárdsági jelű cementet a C35/45 beton nyomószilárdsági osztálytól felfele célszerű alkalmazni.



5. ábra: A nyomószilárdsági osztályokhoz tartozó megengedett víz-cement tényezők (MSZ 4798-1:2004) a *Bolomey-Palotás*-féle víz-cement tényező függvénysoron ábrázolva

Teljes hidratációhoz ❖ szükséges víz mennyisége a cementnek megközelítőleg mintegy 40 – 42 tömeg%-a (víz-cement tényezővel kifejezve: $x = 0{,}40$ vagy 0,42).

A víz-cement tényező csökkentése a pórustartalom csökkenése, ill. a cementkő tömörségének növekedése folytán akkor is szilárdság növekedéshez vezet, ha víz-, illetve helyhiány miatt a cementkőben a teljes hidratáció nem jön létre (*Riesz*, 1989). Ezt használja ki a mai betontechnológia, amely korszerű anyagok (pl. adalékszerek, hidraulikus tulajdonságú kiegészítő anyagok stb.) és gyártási módszerek (pl. intenzív tömörítés, hőérlelés stb.) alkalmazásával a klasszikus betontechnológia lehetőségeit messze meghaladja. Például ma már – *Powers* és *Brownyard* után 60 évvel (külföldön korábban) – $x_0 = 0{,}23$ alatti víz-cement tényezővel olyan különlegesen tömör betont, illetve finombetont lehet készíteni, amelynek nyomószilárdsága az $f_{ck,cyl} = 150$ N/mm^2 értéket is meghaladja. Ez az ún. ultra nagy szilárdságú beton ❖). Az ultra nagy szilárdságú beton hidratációs fokának végértéke a nagyon kis víz-cement tényező folytán $\alpha = 0{,}4 – 0{,}6$, és így a kiindulási klinker fázisok egy része hidratálatlan marad.

Felhasznált irodalom

Abrams, Duff A.: Design of concrete mixtures. Bull. 1. Structural Materials Research Laboratory, Lewis Inst. Chicago, 1918 és 1925.

Balázs György: Beton és vasbeton I. Alapismeretek története. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1994.

Balázs György: Barangolásaim a betonkutatás területén. Akadémiai Kiadó. Budapest, 2001.

Bolomey, J.: Bestimmung der Druckfestigkeit von Mörtel und Beton. Schweizerische Bauzeitung. Band 88. 1926.

Feret, R.: Sur la compacité des mortiers hydrauliques. Dunod. Paris, 1892.

Graf, O. – Walz, K.:	vergleiche Prüfungen von Strassenbauzementen in der Versuchsanstalt und in der Strasse. Zement. No. 28. és 29. 1939.
Graf, Otto:	Die Eigenschaften des Betons. Springer-Verlag. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1950.
Heidelberg Zement AG.:	Betontechnische Daten. Zentraleuropa West, Entwicklung und Anwendung. Leimen, 2005. http://www.heidelbergzement.de
Hilsdorf, H. K.:	Beton. Beton-Kalender Teil I. Verlag für Architektur und technische Wissenschaften. Berin, 1992.
Hummel, Alfred:	Das Beton-ABC. 12. kiadás. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn. Berlin 1959.
Lampl Hugó – Sajó Elemér:	A beton. Kiadta a „Pátria" Irodalmi Vállalat és Nyomdai Rt. Budapest, 1914.
Nothnagel, R.:	Hydratations- und Strukturmodell für Zementstein. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig. Heft 200. 2007.
Palotás László:	A beton. Fejezet a Möller Károly dr. szerkesztésében és kiadásában megjelent Építési Zsebkönyvben. Budapest, 1934.
Palotás László:	A beton. Fejezet a Möller Károly dr. szerkesztésében megjelent Építési Zsebkönyvben. Kir. Magy. Egyetemi Nyomda kiadása. Budapest, 1938.
Palotás László:	Minőségi beton. Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat. Budapest, 1952.
Palotás László:	Fa – Kő – Fém – Kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1979.
Palotás László:	Beton – Habarcs – Kerámia – Műanyag. Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.
Powers, T.C. – Brownyard, T.L.:	Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. Journal of the American Concrete Institute, Proc. 43 (1947); Bulletin 22, Research Laboratories of the Portland Cement Association, Chicago, 1948.
Riesz Lajos (szerk.):	Cement- és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1989.
Talabér József:	Cementipari kézikönyv.Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.
Ujhelyi János:	Betonismeretek. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 2005.
Walz, K.:	Herstellung von Beton nach DIN 1045. 2. kiadás. Beton-Verlag. Düsseldorf, 1972.
Weisz György:	A betonozás technológiája. Közlekedési Kiadó. Budapest, 1952.
Zielinski Szilárd – Zhuk József:	A románcementek összehasonlító vizsgálása és a gyakorlatban való felhasználásának ellenőrzése. Kilián Kiadó, Budapest, 1901.
Zielinski Szilárd:	A román- és portlandcementek szilárdulása pépben, habarcsban és betonban. Az Anyagvizsgálók Nemzetközi

	Egyesületének koppenhágai kongresszusán elhangzott előadás. Pátria Kiadó, Budapest, 1909.
MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 206-1:2002	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ CR 13902:2000	Vizsgálati módszerek a friss beton víz/cement tényezőjének meghatározására. CEN jelentés
DIN EN 197-1:2000	Zement. Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. április havi számának 8-11. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

	Levegőtartalom, légtartalom	

Németül:	Luftgehalt
Angolul:	Air content
Franciául:	Teneur en air

A beton a leggondosabb tömörítés ❖ ellenére is tartalmazhat pórusokat (Pórusszerkezet ❖), amelyeket a beton korától ❖, (Hidratáció ❖) és víztartalmi állapotától ❖, (Víztartalom ❖) függően többé-kevesebbé levegő tölti ki. Levegőtartalomnak az egységnyi térfogatú bedolgozott friss betonban lévő levegő által kitöltött tér térfogatát, más szóval a friss betonban lévő levegő és a bedolgozott friss beton befoglaló térfogatának hányadosát nevezzük. A levegőtartalom nevezetlen szám, amelyet sokszor térfogat%-ban fejezzük ki. A bedolgozott friss betonban szándékunk ellenére maradt levegőt *bennmaradt* levegőtartalomnak, a légbuborékképző adalékszerrel szándékosan bevitt levegőt *bevitt* vagy *képzett* levegőtartalomnak nevezzük (MSZ 4798-1:2004). A friss beton levegőtartalmának fogalma rokonítható a megszilárdult beton porozitásának (Tömörség ❖) fogalmával.

A beton szilárdságát ❖ és tartósságát ❖ jelentős mértékben befolyásolja a beton tömörsége ❖, hézagtartalma, lényegében levegőtartalma. „A beton próbatest nyomószilárdság vizsgálati eredményét a próbatest hiányos tömörítése miatti levegőtartalom jelentős mértékben rontja a jól tömörített betonhoz viszonyítva. Minden 1% levegőtartalom-növekmény a beton nyomószilárdságának – jó közelítéssel – 4-5 százalékos csökkenését okozza...” (MSZ 4798-1:2004). Adott pépigényű ❖ adalékanyagból ❖ készített, adott víz-cement tényezőjű ❖, különböző péptartalmú, jól tömörített betonkeverékek közül mindig a telített beton levegőtartalma a legkisebb (*Balázs*, 1983).

Palotás (1938, 1952, 1961) a friss beton levegőtartalmának, porozitásának hatását a beton nyomószilárdságára ❖ a konzisztenciától függetlenül – a víz-cement tényező törvényt kitágítva – a víz-levegő-cement tényezővel veszi figyelembe, és azt beépíti szilárdságbecslő betontervezési képletébe. *Weisz* (1952) hangsúlyozza, hogy ha a beton nem dolgozható be olyan tömören, hogy a fölös, elpárolgó víz helyén keletkező pórusokon kívül csak lényegtelen mennyiségű pórus maradjon a betonban, akkor az ilyen, egyéb pórust is tartalmazó – például kellőképpen nem tömörített vagy földnedves konzisztenciájú ❖ – beton jellemzésére a víz-levegő-cement tényezőt kell használni (Víz-cement tényező ❖).

Követelmények

Az építési célnak (szilárdság, tartósság stb.) csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű beton felel meg, ezért a bedolgozott friss beton levegőtartalmát korlátozni kell. A bedolgozott friss beton bennmaradt levegőtartalma ne legyen nagyobb általában, mint 2,0 térfogat%; vasbeton szerkezet esetén, mint 1,5 térfogat%; feszített vasbeton szerkezet esetén, mint 1,0 térfogat%; vízzáró beton esetén, mint 1,0 térfogat%; légbuborékképző adalékszer nélkül készített függőleges felületű fagyálló beton esetén, mint 1,5 térfogat%; légbuborékképző adalékszer nélkül készített vízszintes felületű fagyálló beton és függőleges felületű fagy- és olvasztósó-álló beton esetén, mint 1,0 térfogat%. Ha a beton 4 mm feletti adalékanyagának több mint 50 tömeg%-a újrahasznosított betonhulladék adalékanyag, akkor ezek a megengedett levegőtartalom értékek legfeljebb 0,5 térfogat%-kal túlléphetők.

A légbuborékképző ❖ adalékszerrel készített fagyálló, illetve fagy- és olvasztósó-álló beton ❖ esetén az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és

olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%, de ne haladja meg az adalékanyag legnagyobb szemnagysága függvényében megadott osztrák határértéket *(1. táblázat*), mert 1,0 térfogat% légpórustartalom növekedés 4-5 % beton nyomószilárdság csökkenést okoz.

A megszilárdult beton légbuborék szerkezetet ❖ az MSZ EN 480-11:2006 szerinti mikroszkópos vizsgálattal meg kell határozni.

1. táblázat: Előírás a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmára és légbuborék szerkezetére az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabványban

Az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. és 5.5.5. szakaszában, valamint NAD 10. táblázatában előírják a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmát a friss cementpépben és a friss betonban, ill. péptelített betont feltételezve az adalékanyag legnagyobb szemnagyságára (zárójelben az MSZ 4798-1:2004 szabványnak megfelelő D_{max} érték) vetítve a friss betonban, valamint a megszilárdult fagy- és olvasztósó-álló betonok hatékony légbuboréktartalmát és távolsági tényezőjét a következőképpen:		
Környezeti osztály	XF2 és XF3	XF4
Összes levegőtartalom a *friss cementpépben*, legalább, térfogat%	9,0	13,0
Összes levegőtartalom a *friss betonban*, legalább, térfogat%	2,5	4,0
Összes levegőtartalom a *friss betonban*, legfeljebb, térfogat%	2,5 + 4,0 = 6,5 *	4,0 + 4,0 = 8,0
Legnagyobb szemnagyság, mm	Összes levegőtartalom a *friss betonban*, térfogat%	
4	4,0 – 6,0	7,0 – 11,0
8 és 11 (12)	4,0 – 6,0	6,0 – 10,0
16	3,0 – 5,0	4,5 – 8,5
22 (24) és 32	2,5 – 5,0	4,0 – 8,0
63	2,0 – 4,0	3,0 – 7,0
* Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. szakasza és NAD 10. táblázata szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke 5,0 térfogat%, hacsak a kezdeti vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható.		
0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű (hatékony) légbuborékok mennyisége a *szilárd betonban* (jele: *L*300), térfogat%	1,0 – 3,0 **	1,8 – 5,0
Távolsági tényező a *szilárd betonban* (jele: *AF*), legfeljebb, mm	–	0,18
** Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.5.5. szakasza szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban a hatékony légbuborékok mennyisége akkor lehet 3,0 térfogat%-nál több, ha az 5,0 térfogat% feletti összes levegőtartalom ártalmatlanságát igazolták.		

A levegőtartalomra vonatkozó követelmény teljesítésének érdekében a bedolgozott friss beton próbatestek egyedi testsűrűségének a tervezett testsűrűségnél legfeljebb 30 kg/m^3-rel szabad kisebbnek lennie, azonban <u>átlagos testsűrűségüknek</u> (ha egy próbatest egy mintát alkot), illetve a több próbatest alkotta minták átlagos testsűrűségeinek átlagából számított testsűrűségnek <u>nem szabad kisebbnek lennie, mint a friss beton tervezett testsűrűsége</u>. Ha adott keverék esetén az alkalmazott tömörítéssel e feltételek nem teljesíthetők, akkor egyrészt a tömörítés módját felül kell vizsgálni, másrészt – feltételezve a friss próbatestek és a

szerkezetbe bedolgozásra kerülő friss beton közelítőleg azonos tömörségét – a betonösszetételt a helyszíni tömörítési módhoz igazítva át kell tervezni.

A friss beton levegőtartalmának meghatározása a testsűrűség mérés eredményéből számítással

A bedolgozott friss beton tervezett levegőtartalmának ($V_{levegő}$) felvételével felírható a beton összetevőinek tervezett térfogatösszegét kifejező összefüggés:

$$\frac{M_{cement}}{\rho_{cement}} + \frac{M_{adalékanyag}}{\rho_{adalékanyag}} + \frac{M_{víz}}{\rho_{víz}} + V_{levegő} = 1000 \quad [liter/m^3]$$

ahol M a betonösszetevők tervezett tömege és ρ a testsűrűsége. A bedolgozott friss beton tervezett testsűrűsége:

$$\rho_{friss\ beton\ tervezett} = M_{cement} + M_{adalékanyag} + M_{víz} \quad [kg/m^3]$$

Legyen a bedolgozott friss beton tapasztalati (tényleges) és tervezett testsűrűségének hányadosa:

$$r = \frac{\rho_{friss\ beton\ tapasztalati}}{\rho_{friss\ beton\ tervezett}}$$

A bedolgozott friss beton *tapasztalati* testsűrűsége a betonösszetevők tapasztalati tömege (M') felhasználásával:

$$\rho_{friss\ beton\ tapasztalati} = r \cdot \rho_{friss\ beton\ tervezett} =$$

$$= M'_{cement} + M'_{adalékanyag} + M'_{víz} =$$

$$= r \cdot \left(M_{cement} + M_{adalékanyag} + M_{víz}\right) =$$

$$= r \cdot M_{cement} + r \cdot M_{adalékanyag} + r \cdot M_{víz} \quad [kg/m^3]$$

A bedolgozott friss beton *tapasztalati* levegőtartalma:

$$V'_{levegő} = 1000 - r \cdot (betonösszetevők\ tervezett\ térfogata) =$$

$$= 1000 - r \cdot \left(\frac{M_{cement}}{\rho_{cement}} + \frac{M_{adalékanyag}}{\rho_{adalékanyag}} + \frac{M_{víz}}{\rho_{víz}} \right) =$$

$$= 1000 - r \cdot (1000 - V_{levegő}) = (1 - r) \cdot 1000 + r \cdot V_{levegő} \quad [liter/m^3]$$

Például: ha M_{cement} = 300 kg/m^3, $M_{adalékanyag}$ = 1950 kg/m^3, $M_{víz}$ = 150 kg/m^3, $V_{levegő}$ = = 20 liter/m^3, $\rho_{friss\ beton\ tervezett}$ = 2400 kg/m^3 és $\rho_{friss\ beton\ tapasztalati}$ = 2300 kg/m^3, akkor r = 2300/2400 = 0,95833 és $V'_{levegő\ tapasztalati}$ = (1 - 0,95833)·1000 + + 0,95833·20 = 41,67 + 19,17 = 60,84 liter/m^3,

azaz a tapasztalati (tényleges) levegőtartalom a tervezett 2 térfogat% helyett 6,1 térfogat%, és a beton tényleges cementtartalma a tervezett 300 kg/m^3 helyett $M'_{cement} = r \cdot M_{cement}$ = = 0,95833·300 = 287,5 kg/m^3.

Megjegyzés: A friss beton testsűrűségét az MSZ EN 12350-6:2000 szabvány szerint kell meghatározni.

A friss beton levegőtartalmának meghatározása nyomásmódszerrel

A friss beton levegőtartalmát általában nyomásmódszerrel szokás megmérni. A nyomásmódszer neve németül „Druckverfahren”. A módszert az MSZ EN 12350-7:2000 európai szabvány tárgyalja, lényegében ugyanúgy, ahogy azt a mára visszavont MSZ 4714-2:1986 szabvány 4.2. szakasza is leírta. A módszer a *Boyle-Mariott* törvényen alapul, amely szerint a cseppfolyósítási hőmérsékletüknél jóval nagyobb hőmérsékletű valódi gázok (mint például a levegő) nyomásának (p) és térfogatának (v) szorzata állandó ($p \cdot v$ = konstans).

A szabványok szerint a nyomástartó készülékbe ismert tömegű és térfogatú beton fölé vízréteget kell önteni, ezután a készülékben meghatározott mértékű légnyomást kell létrehozni, majd a túlnyomást fokozatosan meg kell szüntetni. A nyomás, illetve a térfogat csökkenése megfelelő skálabeosztás esetén levegőtartalmat adja meg térfogatszázalékban. A módszer legfeljebb 32 mm szemnagyságú betonok vizsgálatára alkalmas.

A vizsgálat előkészítéseként a betont a készülék edényébe kell helyezni, lehetőleg két azonos magasságú rétegben be kell vibrálni, a bevibrált beton felületét simítóléccel, fűrészelő mozdulatokkal úgy kell lesimítani, hogy az edény felső pereméig éppen tele legyen betonnal. Megtisztítás után az edényt a készülék tetejével le kell zárni.

A vizsgálatok eredményét legalább két olyan, egymást követő mérés eredményének számtani átlagaként számítjuk ki, amelyek között az eltérés legfeljebb 0,2 %. A levegőtartalmat térfogat%-ban fejezzük ki.

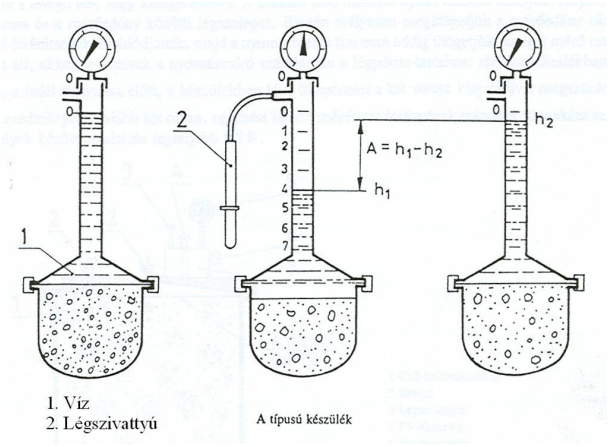
A nyomásmódszerrel dolgozó levegőtartalom mérő készülék lehet „*A*” típusú, amely víznyomással működik, és a nyomáscsökkenést méri, vagy „*B*” típusú, amely levegőnyomással működik, és a térfogatcsökkenést méri. Az „*A*” típusú készülék neve németül „Wassersäulenmeßgerät” (az eljárás neve: „Wassersäulenverfahren”), a „*B*” típusú készüléké „Druckmeßgerät” (az eljárás neve: „Druckausgleichsverfahren”). A gyakorlatban a „*B*” típusú eljárás alkalmazása terjedt el.

A nyomásmódszert alkalmazó mindkét típusú mérőeszköznek tartozéka a kalibráló-berendezés.

A friss beton levegőtartalmának meghatározása ***„A” típusú*** *levegőtartalom vizsgáló készülékkel*, amely víznyomással működik, és a nyomáscsökkenést méri (1. ábra).

A készüléket összeállítás után jelzésig vízzel feltöltjük. A készüléket a függőlegestől mintegy 30°-ra megdöntjük, és azzal több teljes kört leírunk, egyidejűleg könnyedén ütögetve a fedelet, hogy a minta felett képződött légbuborékok eltávozzanak. Ezután a berendezést ismét függőleges helyzetbe hozzuk, és könnyedén ütögetve a mérőedény oldalát azt vízzel feltöltjük úgy, hogy a víz szintje a 0 jelzés fölött legyen. A víz tetejéről a habot eltávolítjuk, hogy éles felszíngörbület képződjék. A víz szintjét a cső 0 jelzésére állítjuk a vízoszlop tetején lévő szeleppel. A készülékben a megadott nyomásnál néhány százalékkal nagyobb nyomást létesítünk. A helyi feszültségek feloldása céljából erősen ütögetjük a berendezés oldalát és leolvassuk a h_1 vízszintet. Ezután a vízoszlop tetején lévő szelep segítségével a túlnyomást fokozatosan megszüntetjük és – a mérőedény oldalát egy percig könnyedén ütögetve – leolvassuk a h_2 vízszintet. A levegőtartalom a h_1 - h_2 vízszintkülönbséggel arányos. Ezután a mérést megismételjük anélkül, hogy a vízszint 0-ra állna. Ha az alkalmazott vizsgálati nyomás mellett a levegőtartalom nagyobb, mint ami a mérőeszköz skáláján mérhető, a vizsgálati nyomást csökkentjük, és a vizsgálatot megismételjük.

Ha a készülékben lévő nyomást a légszelep segítségével a légköri 1 at nyomásról 2 at abszolút nyomásra növeljük, akkor az üvegcső beosztásán leolvasott $\Delta v = h_1 - h_2$ térfogatváltozás a levegőtartalom fele (v/2). A skálán akkor lehet a levegőtartalmat közvetlenül leolvasni, ha 0,5 cm^3-t jelölnek 1,0 cm^3-rel.



1. ábra: „*A*” típusú levegőtartalom vizsgáló készülék, MSZ 4714-2:1986

A friss beton levegőtartalmának meghatározása ***„B” típusú*** *levegőtartalom vizsgáló készülékkel*, amely levegőnyomással működik, és a térfogatcsökkenést méri (2. ábra).

A készülék összeállítása után elzárjuk a légkamra és a mérőedény közötti légszelepet, és kinyitjuk a fedélen lévő nyílások reteszeit. Ezután a készülékbe az egyik nyíláson keresztül addig töltünk vizet, amíg a víz a másik nyílásnál meg nem jelenik. A készüléket addig rázogatjuk, amíg a minta felett képződött légbuborékok el nem távoznak az edényből.

Ezt követően a légkamra szelepét elzárjuk, és annyi levegőt nyomunk a légkamrába, hogy a légnyomásmérő mutatója a kezdőnyomás vonalán álljon. 10 másodpercig várunk, majd a mérő mutatóját a kezdeti nyomásértékre visszaállítjuk a levegő be-, vagy kiengedésével. A fedélen lévő mindkét nyílás reteszét lezárjuk, majd kinyitjuk a légkamra és a mérőedény közötti légszelepet. Ekkor a légkamrában és az edényben lévő nyomás kiegyenlítődik.

Ezután erélyesen megütögetjük a mérőedény oldalát, hogy a helyi feszültségek feloldódjanak, majd a nyomásmérőt finoman addig ütögetjük, amíg a mérő mutatója meg nem áll, ekkor leolvassuk a nyomásmérő számlapján a levegőtartalmat térfogatszázalékban, ha beosztása ennek megfelelő. Mérés után, a fedél felnyitása előtt, a készülékben lévő túlnyomást a két retesz kinyitásával megszüntetjük.

Az eredeti *Tonindustrie* készülék $v = 80$ cm^3 térfogatú légkamrájában a levegő nyomását a kézi pumpa segítségével $p_0 = 3{,}5$ at abszolút nyomásra növeljük. A betonban lévő ismeretlen térfogatú ($V_{levegő}$) levegő nyomása a légköri 1 at nyomásnak felel meg. A légkamra és az edény összenyitása után a ($v+V_{levegő}$) össztérfogatban uralkodó nyomás p, amiből a beton levegőtartalma ($V_{levegő}$) kiszámítható:

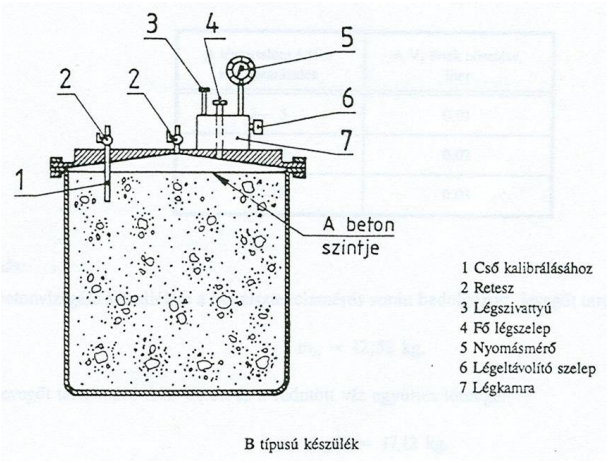
$$p_0 \cdot v + 1 \cdot V_{levegő} = p \cdot (v + V_{levegő})$$

$$3{,}5 \cdot 80 + V_{levegő} = p \cdot 80 + p \cdot V_{levegő}$$

$$V_{levegő} = \frac{280 - 80 \cdot p}{p - 1} \quad \left[cm^3\right]$$

$$V_{levegő}{}^{\%} = 100 \cdot \frac{V_{levegő}}{8000} = \frac{V_{levegő}}{80} \quad \left[térfogat\%\right],$$

ha az edény térfogata 8 liter. Az újabb készülékek manométerének skáláján a *p* nyomás helyett közvetlenül a levegőtartalom olvasható le.



2. ábra: „*B*” típusú levegőtartalom vizsgáló készülék, MSZ 4714-2:1986

A friss beton levegőtartalmának meghatározása térfogatos módszerrel

A kissé képlékeny és lágyabb friss betonok levegőtartalmának meghatározására az MSZ 4714-2:1986 szabvány 4.1. szakasza térfogatos módszert is tartalmazott, amelynek mérőeszköze az ejtőkengyeles konzisztencia vizsgáló készülék (VEBE-méteres átformálási idő ❖) volt. Az ejtőkengyeles mérőedényben a levegőtérfogatot a levegőtartalmú és a levegőtartalom nélküli beton térfogatának különbségeként mérték meg, és a levegőtartalmú beton térfogatára vonatkoztatták. A térfogatos levegőtartalom mérési módszer a gyakorlatban nem terjedt el, európai szabvány sincs rá.

Felhasznált irodalom

Balázs György (szerk.):	Építőanyag praktikum. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1983.
Balázs György:	Beton és vasbeton I. Alapismeretek története. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1994.
Balázs György:	Barangolásaim a betonkutatás területén. Akadémiai Kiadó. Budapest, 2001.
Palotás László:	A beton. Fejezet a Möller Károly dr. szerkesztésében megjelent Építési Zsebkönyvben. Kir. Magy. Egyetemi Nyomda kiadása. Budapest, 1938.
Palotás László:	Minőségi beton. Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat. Budapest, 1952.
Palotás László:	Építőanyagok II. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1961.
Weisz György:	A betonozás technológiája. Közlekedési Kiadó. Budapest, 1952.
Weiss György:	Építőipari laboratóriumi méréstechnika és műszerismeret. I. kötet. pp. 187-189. Építésügyi Tájékoztatási Központ, Budapest, 1974.
MSZ 4714-2:1986	A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A betonalkotók mennyiségének, a beton testsűrűségének és légpórustartalmának meghatározása
MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ EN 480-11:2006	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása
MSZ EN 12350-6:2000	A friss beton vizsgálata. 6. rész: Testsűrűség
MSZ EN 12350-7:2000	A friss beton vizsgálata. 7. rész: Légtartalom. Nyomásmódszerek

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. június havi számának 20-23. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

Bauxitbeton

Németül:	Bauxitbeton, Tonerdebeton, Tonerdezementbeton, Beton auf Tonerdezementbasis
Angolul:	Concrete with bauxite cement, concrete with aluminous cement
Franciául:	Bauxitebéton, béton avec ciment de bauxite, béton avec ciment de alumineux

Cementkémia

A bauxitbeton kötőanyaga az aluminátcementek fajtájába tartozó bauxitcement. Kémiai összetétele, tulajdonságai, színe lényegesen különbözik az építőipari célra általánosságban, napjainkban kizárólagosan használt portlandcementekétől ❖. A bauxitcement színe világosbarna, vörösesbarna, elnevezése egyrészt arra utal, hogy nyersanyaga a timföldcementétől eltérően bauxit, de másrészt égetési sajátságokat is kifejez (*Talabér*, 1966; *Palotás*, 1979 és 1980).

Az aluminátcementek, így a bauxitcement is – hasonlóan a portlandcementekhez – levegőn és víz alatt egyaránt szilárdul, azaz hidraulikus tulajdonságú, szilárdulás közben hőt fejleszt, habarcsok és betonok előállítására alkalmas. Szilárdulása azonban a portlandcement szilárdulásánál sokkal gyorsabb, és szilárdulás közbeni felmelegedése a portlandcementénél sokkal jelentősebb. A bauxitcement gyártásával és felhasználásával nem akarták a portlandcementet kiszorítani, – nem kis anyagi áldozat árán, mert drágább volt a portlandcementnél – csak ott használták, ahol különleges tulajdonságaira feltétlenül szükség volt: a betonok gyors kizsaluzhatóságát és használatbavételét, valamint a téli betonozást kívánták általa megoldani.

Míg a kötésszabályozó és egyéb kiegészítő anyagoktól elvonatkoztatva a portlandcement legfőbb nyersanyaga a mészkő és az agyag, addig a bauxitcementté a mészkő és a bauxit. A cementgyártás során a nyersanyagok törésével, őrlésével és megfelelő arányú keverésével nyerslisztet állítanak elő, abból általában gömbszerű granulátumot képeznek, és azt cementfajtától függő hőmérsékleten és módszerrel kiégetik. Megjegyzendő, hogy a bauxitcement gyártásához nem kell feltétlenül granulálás. Tatabánya-Felsőgallán például téglákká formázva égették *Hofmann*-féle körkemencében. Máskor az előkészítetlen nyerskeveréket olvasztják össze elektromos kemencében, ismét máskor nagyolvasztóban égetik. Az égetés eredményeképpen áll elő a klinker, a félkész termék, amelynek finomra őrlésével készül a bauxitcement.

Leegyszerűsítve mondhatjuk, hogy a portlandcement klinker ❖ elsősorban kalcium-szilikátokból, a bauxitcement-klinker elsősorban kalcium-aluminátokból áll (*Talabér*, 1966; *Palotás*, 1979 és 1980).

A portlandcementek és az aluminátcementek hidratációs és szilárdulási folyamata ❖ között az a legdöntőbb különbség, hogy az előzőnél a beton keveréshez használt vízzel való reakció folyamán még geológiai értelemben véve is stabil hidratációs termékek keletkeznek, az aluminátcementeknél viszont a szokványos körülmények között elsődlegesen létrejövő és nagy kezdőszilárdságot biztosító hidratációs termékek instabilak, és idővel stabil vegyületekké alakulnak át. E stabil kalcium-aluminátok térfogata kisebb, mint az instabilaké, ezért kialakulásuk a cementkő porozitásának ❖ növekedésével és ennek következtében a beton szilárdságának ❖ csökkenésével jár (*1. – 2. ábra*). *Talabér* (1991) kimutatta, hogy az átalakulás termodinamikailag törvényszerű, amit a hőmérséklet, a készítéskori víz-cement-tényező ❖, a rendszer pH értéke, CO_2 tartalma, alkáli tartalma jelentősen befolyásol.

Újabb megállapítás, hogy a stabilitás irányába ható kémiai reakciók folyamata a teljes átalakuláshoz közeledve lelassul, majd gyakorlatilag meg is áll. Kedvező esetben felléphetnek olyan folyamatok, amelyek hatására minimális mértékű szilárdságnövekedés is végbemehet (*Révay*, 1995; *Talabér*, 1996).

1. ábra: Bauxitbeton pillér, a nyílnál elvékonyodott acélbetéttel

2. ábra: Bauxitbeton fúrásmag palástja

A bauxitcement gyártás és bauxitbeton készítés története

A bauxitcement gyártását *Jules Bied* francia vegyész eljárása alapján „Lafarge Fondu" elnevezés alatt 1908-ban szabadalmaztatták. Az első gyártási kísérleteket 1913-ban végezték a francia *Lafarge-gyárban,* majd – miközben gyors szilárdulása miatt néhány helyen közben már alkalmazták, – öt év múlva, 1918-ban hozták forgalomba „Ciment Fondu" néven. A mintegy tíz év múlva már jelentkező szilárdság csökkenés miatt felhasználását Franciaországban 1927-től kezdve fokozatosan szigorították, 1943-tól előzetes engedélyhez kötötték, ami gyakorlatilag a betiltást jelentette. E tiltást a fontos építkezésekre vonatkozólag, szigorú felhasználási előírások egyidejű megfogalmazása mellett, 1970-ben feloldották (*Faurie – Rabot*, 1972).

Időközben több más államban a bauxitcementet elfogadták és szabványosították. A bauxitcement után megjelentek és elterjedtek az aluminátcementek is, – ilyen például a timföldcement – ezeket azonban lényegében nem építési célra, hanem tűzállóanyagok gyártására használták és használják ma is.

Magyarországon a Magyar Általános Kőszénbánya Rt. Tatabánya-Felsőgallán gyártott bauxitcementet, amely „Citadur bauxitcement" néven 1928-ban került forgalomba. A gyártott mennyiség sohasem érte el a napi 200 tonnát (*Balázs*, 1994). Találkoztunk olyan födémekkel, amelyeket e cementről elnevezve „Citonit" födémnek hívtak (*Kausay*, 1970). A bauxitbeton szilárdságcsökkenésére hazánkban *Mihailich* már az 1936-ban felfigyelt, és kísérleteinek eredményéről 1942-ben előadást is tartott. A felsőgallai „Citadur bauxitcement" gyártása nagyobb mennyiségben 1942-ben, végleg 1949-ben szűnt meg, a felhasználás

1950-ig, legfeljebb 1954-ig tartott (*Balázs*, 1994). Volt tehát 10-14 év – éppen a hazai építőipar konjunkturális évei, – amely alatt számos ipari épület, középület, lakóépület tartószerkezete, vagy szerkezeti eleme bauxitbetonból készült, és amelyek szilárdságcsökkenése az idő haladtával fokozódott (*Rausch*, 1967).

A bauxitbeton épületek felülvizsgálata

A bauxitbeton épületek számbavétele, vizsgálata, az esetleg szükséges beavatkozások megtervezése és elvégzése az 1960-as évek derekára sürgetővé vált. Az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium a bauxitcement felhasználásával készült épületek állékonyságának felülvizsgálatát a 6/1967. ÉVM sz. körrendelettel tette kötelezővé. A felülvizsgálat elvégzésére kiemelten öt intézményt, az Építéstudományi Intézetet, az Építőipari Minőségvizsgáló Intézetet, a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézetet, a Földmérő és Talajvizsgáló Vállalatot, az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetemet jelöltek ki. A kijelölt intézmények 1972-ig mintegy 1600 épületet, ezen belül 1200 lakóépületet tártak fel. A 19/1969. (VII.17.) ÉVM sz. rendelettel, a 23/1970. (XII.20.) ÉVM sz. rendelettel és a 16/1970./Ép.Ért.35. ÉVM sz. utasítással újból szabályozták a bauxitbetonos építményekkel kapcsolatos feladatokat (*Vadász*, 1972). Ezek szellemében végzett folyamatos feltáró munka eredményeképpen 1990-ben már 2034 bauxitbeton épületet ismertek, ebből 1717 épületet a fővárosban (*Balázs*, 1994). Az építésügyi hatóság a felülvizsgálati szakvélemények, jegyzőkönyvek alapján hozott határozatot az építmény további sorsáról.

A bauxitbeton építmények, épületek állapotának vizsgálatát általában roncsolásmentes betonszilárdsági és acél korróziós gyors vizsgálattal végezték, és annak kedvezőtlen eredménye esetén roncsolásos betonszilárdsági, kristallográfiai, és egyéb részletes beton és acél korróziós vizsgálattal folytatták, illetve így járnak el ma is. A követendő vizsgálati és számítási módszerekről 1968-1970 között különböző szintű (házi, intézetek közötti, ágazati) bauxitbeton vizsgálati és erőtani szabványok, illetve tervezetek, javaslatok készültek (ÉMI-HSz-605/1968, SzSz-2-T/1968, ÉSZ K-3-T/1968, ÉSZ 69-T/1969, ÉSZ 24-T/1968, ÉSZ 24-T és J/1970).

A gyors (egyszerűsített), roncsolásmentes vizsgálatok eredményéből meghatározott határfeszültség alapján a bauxitbetonból készült vasbeton építményeket és szerkezeti elemeket állapotuk szerint veszélyességi csoportokba sorolták, illetve sorolják (*1. táblázat*). Az előírt számítási módszer szerint a bauxitbeton határfeszültsége a küszöbszilárdság 0,78-szorosa.

1. táblázat: Bauxitbetonból készült vasbeton szerkezetek veszélyességi csoportba sorolása egyszerűsített eljárás esetén

Kategória (veszélyességi) csoport	Központosan nyomott elem	Külpontosan nyomott elem	Hajlított elem
	Beton határfeszültség, σ_{bH} N/mm^2		
A	$\sigma_{bH} \geq 5,0$	$\sigma_{bH} \geq 4,0$	$\sigma_{bH} \geq 3,5$
B	$5,0 > \sigma_{bH} \geq 3,5$	$4,0 > \sigma_{bH} \geq 3,0$	$3,5 > \sigma_{bH} \geq 2,5$
C1	$3,5 > \sigma_{bH} \geq 3,0$	$3,0 > \sigma_{bH} \geq 2,5$	$2,5 > \sigma_{bH} \geq 2,0$
C2	$3,0 > \sigma_{bH}$	$2,5 > \sigma_{bH}$	$2,0 > \sigma_{bH}$
Megjegyzés: *Ma* a vasbeton szerkezetbe beépíthető leggyengébb MSZ 4798-1:2004 szerinti (természetesen nem bauxitbeton) közönséges beton (C20/25 nyomószilárdsági osztály) előírt beton határfeszültsége (mai nevén a beton nyomószilárdság teherbírási tervezési értéke) 13,3 N/mm^2.			

A bauxitbeton szerkezetek kategóriánkénti állapotleírása és a végrehajtandó intézkedések a következők:

- „A" kategóriájú az építmény vagy tartószerkezeti elem, ha állékonysága és betonszilárdsága megfelelő, és belátható időn belül beavatkozásra nincs szükség. A roncsolásmentes betonszilárdsági és acélkorróziós gyors vizsgálatot nyolc év múlva meg kell ismételni.
- „B" kategóriájú az építmény vagy tartószerkezeti elem, ha állékony, de betonszilárdsága gyenge és nem kizárt, hogy néhány év múlva állapotával kapcsolatban valamilyen intézkedés szükségessé válik. A roncsolásmentes betonszilárdsági és acélkorróziós gyors vizsgálatot öt év múlva meg kell ismételni, továbbá erőtani felülvizsgálat is szükséges lehet.
- „C1" kategóriájú az építmény vagy tartószerkezeti elem, amelynek állapota és betonszilárdsága nem megfelelő. Az életveszély elhárításához szükséges intézkedéseket további, részletes vizsgálatok eredménye és erőtani felülvizsgálat alapján kell megtenni. Az erőtani vizsgálat és az esetleg szükséges megerősítések számításainak elvégzésére *Brúzsa László* födém ábráival illusztrált segédletet bocsátottak ki (*Gábory*, 1969).
- „C2" kategóriájú az építmény vagy tartószerkezeti elem, amelynek állapota és betonszilárdsága annyira kritikus, hogy az életveszély elhárítása érdekében minden további vizsgálat nélkül azonnal intézkedni kell.

Az elkészült bauxitbeton szakvélemények és vizsgálati jegyzőkönyvek egy példányának megőrzését, az építmények nyilvántartásba vételét az ÉVM 1970-ben az ÉMI Építőipari Minőségvizsgáló Intézetre bízta. Az épített környezet alakításáról és védelméről szóló 1997. évi LXXVIII. törvény V. fejezet 58. § (2) bekezdés l) pontja szerint a bauxitcementtel épült építményekről ma is hatósági nyilvántartást kell vezetni. A nyilvántartásban foglaltakról az ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Kht. adattárában lehet felvilágosítást kapni. A bauxitbeton szerkezetek átalakításához szükséges engedélyezési kérelmet szakhatósági véleményezésre az ÉMI Kht-hez kell benyújtani.

A bauxitbeton épületek karbantartása, időszakos felülvizsgálata a tulajdonos feladata [23/1970. (XII.20.) ÉVM sz. rendelet], és bár a veszélyes épületrészek nagy részét már lebontották vagy megerősítették, és a szilárdságcsökkenési folyamat lelassult vagy feltehetően megállt, az óvatosság továbbra is fontos, annál is inkább, mert szórványosan még napjainkban is vannak feltáratlan, nyilvántartásba nem vett, megerősítendő bauxitbeton szerkezetek, szerkezeti elemek. Gyanú esetén, ha a beton színe vörösesbarna, ha az építés vagy átalakítás 1928-1950 között történt, szakértőhöz vagy szakértő intézethez kell fordulni.

Felhasznált irodalom

Mihailich Győző: A meleg befolyása a bauxitcement-beton szilárdságára. Mathematikai és Természettudományi Értesítő. 1936. pp. 30.

Mihailich Győző: A beton- és vasbetonépítés újabb fejlődése. A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványai. III. kötet. 14. füzet. Budapest, 1942.

Talabér József: Az aluminátcement-betonok tartóssága. Akadémiai doktori értékezés. MTA, Budapest, 1991.

Talabér József: Az aluminátcementek mai szemmel. Építőanyag. 1996. 4. szám. pp. 107-113.

Révay Miklós: A bauxitcement diadala, bukása és feltámadása. Beton. 1995. 9., 10., 11. szám.

Faurie, M. T. - Rabot, M. R.: A „Ciment Fondu" aluminátcement. Kézirat. SZTE, 1972.

Kausay Tibor: A bauxitbeton felülvizsgálata során talált „Citonit” födémekről. Építőanyag. 1970. 8. szám. pp. 317-320.

Bölcskei Elemér - Szalai Kálmán: A bauxitbeton szerkezetek felülvizsgálata. Magyar Építőipar XVII évf. 4. szám. 1968. pp. 193- 200.

Bölcskei Elemér - Szalai Kálmán: Bauxitbeton építmények teherbírási tartaléka I. és II. rész. Magyar Építőipar XVIII évf. 9-10. szám. 1969. pp. 465-638.

Korda János - Szalai Kálmán: A szerkezeti betonok szilárdsági követelményei és minősítésük. Mélyépítéstudományi Szemle XXIII. évf. 1973. évf. 3. szám. pp. 117-125.

Szalai Kálmán: A betonszilárdság minősítése. Építési kutatás-fejlesztés. ÉTI. 1974 évf. 1-2. szám. pp. 31-41.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. szeptember havi számának 8-10. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

B.1 táblázat: Légbuborék-eloszlás számítása [kézírás: MSZ EN 480-11:2006]

[kézírás: A táblázat a betonban lévő légpórusok eloszlásának számítását mutatja be.]

Mérővonalak teljes hossza, T_{tot}	2400 mm

Oszlop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	Osztály sorszáma	Osztályhatárok	Húrok száma az osztályban	Húrgyakoriság	Légbuborék metszet felületaránya	Húrok száma beton mm^3-enként	Légbuborékok száma az osztályban beton mm^3-enként	Egy légbuborék térfogata	Légbuborék tartalom osztályonként	Összes légbuborék tartalom
Számítási utasítás		[1]) [kézírás: y - y']	Mért C_i darabszám	3. oszlop adata osztva T_{tot} értékkel	[1]) [kézírás: Átmetszési valószínűség]	4. oszlop adata osztva az 5. oszlop adatával	6. oszlop adatából kivonva a 6. oszlop következő adatát	[1]) [kézírás: Felső osztályhatár átmérőjű pórus]	7. oszlop adata szorozva a 8. oszlop adatával és 100-zal	9. oszlop adatainak göngyölített értéke
Mértékegység		μm	[kézírás: db]	[kézírás: db/] mm^{-1}	~~mm^2~~	mm^{-3}	[kézírás: db/] mm^{-3}	mm^3	térfogat %	térfogat %
	1.	0 - 10	65	0,02708	0,0001178	229,90945	140,483	$5{,}24 \times 10^{-7}$	0,007	0,01
	2.	15 - 20	58	0,02458 [kézírás: 17]	0,0002749	~~89,42646~~ [kézírás: 87,92258]	~~9,372~~ [kézírás: 7,869]	$4{,}19 \times 10^{-6}$	0,004 [kézírás: 3]	0,01
	3.	25 - 30	83	0,03458	0,0004320	80,05401	6,483	$1{,}41 \times 10^{-5}$	0,009	0,02
	4.	35 - 40	104	0,04333	0,0005890	73,57102	24,427	$3{,}35 \times 10^{-5}$	0,082	0,10
	5.	45 - 50	88	0,03667	0,0007461	49,14444	13,161	$6{,}54 \times 10^{-5}$	0,086	0,19
	6.	55 - 60	78	0,03250	0,0009032	35,98317	11,108	$1{,}13 \times 10^{-4}$	0,126	0,31
	7.	65 - 80	136	0,05667	0,0022780	24,87562	13,405	$2{,}68 \times 10^{-4}$	0,359	0,67
	8.	85 - 100	80	0,03333	0,0029060	11,47052	3,925	$5{,}24 \times 10^{-4}$	0,206	0,88
	9.	105 - 120	64	0,02667	0,0035340	7,54575	2,341	$9{,}05 \times 10^{-4}$	0,212	1,09
	10.	125 - 140	52	0,02167	0,0041630	5,20458	2,682	$1{,}44 \times 10^{-3}$	0,386	1,48
	11.	145 - 160	29	0,01208	0,0047910	2,52209	0,600	$2{,}14 \times 10^{-3}$	0,128	1,61
	12.	165 - 180	25	0,01042	0,0054190	1,92225	0,613	$3{,}05 \times 10^{-3}$	0,187	1,79
	13.	185 - 200	19	0,00792	0,0060476	1,30906	0,623	$4{,}19 \times 10^{-3}$	0,261	2,05
	14.	205 - 220	11	0,00458	0,0066760	0,68654	0,230	$5{,}58 \times 10^{-3}$	0,128	2,18
	15.	225 - 240	8	0,00333	0,0073040	0,45637	0,036	$7{,}24 \times 10^{-3}$	0,026	2,21
	16.	245 - 260	8	0,00333	0,0079330	0,42019	0,079	$9{,}20 \times 10^{-3}$	0,073	2,28
	17.	265 - 280	7	0,00292	0,0085610	0,34069	0,114	$1{,}15 \times 10^{-2}$	0,131	2,41
	18.	285 - 300	5	0,00208	0,0091890	0,22672	0,032	$1{,}41 \times 10^{-2}$	0,046	2,46 [2])
	19.	305 - 350	12	0,00500	0,0257200	0,19440	0,054	$2{,}24 \times 10^{-2}$	0,121	2,58
	20.	355 - 400	10	0,00417	0,0296500	0,14053	0,016	$3{,}35 \times 10^{-2}$	0,055	2,63
	21.	405 - 450	10	0,00417	0,0335800	0,12408	0,035	$4{,}77 \times 10^{-2}$	0,168	2,80
	22.	455 - 500	8	0,00333	0,0375000	0,08889	0,072	$6{,}54 \times 10^{-2}$	0,471	3,27
	23.	505 - 1000	24	0,01000	0,5910000	0,01692	0,014	$5{,}24 \times 10^{-1}$	0,753	4,03
	24.	1005 - 1500	6	0,00250	0,9837000	0,00254	0,0010	1,77	0,182	4,21
	25.	1505 - 2000	5	0,00208	1,3760000	0,00151	0,0008	4,19	0,338	4,55
	26.	2005 - 2500	3	0,00125	1,7690000	0,00071	0,0005	8,18	0,420	4,97
	27.	2505 - 3000	1	0,00042	2,1620000	0,00019	0,0002	$1{,}41 \times 10^{+1}$	0,272	5,24
	28.	3005 - 4000	0	0,00000	5,5020000	0,00000	0,0000	$3{,}35 \times 10^{+1}$	0,000	5,24

[kézírás, a 4. oszlop mellett: 1 mm hosszon átmetszett pórusok száma az osztályban]

[kézírás, a 10. oszlop mellett: A felső osztályhatárhoz tartozó értékek.]

[1]) Az 1., 2., 5., és 8. oszlop értékei minden vizsgálat esetén azonosak.

[2]) A 10. oszlopban bekeretezett adat az A_{300} értéknek felel meg.

Légbuboréktartalom, távolsági tényező

Németül:	Kugelporengehalt, Abstandsfaktor (AF)
Angolul:	Micropore content, Spacing factor
Franciául:	Contenu en micropore, Facteur de distance

Bevezetés

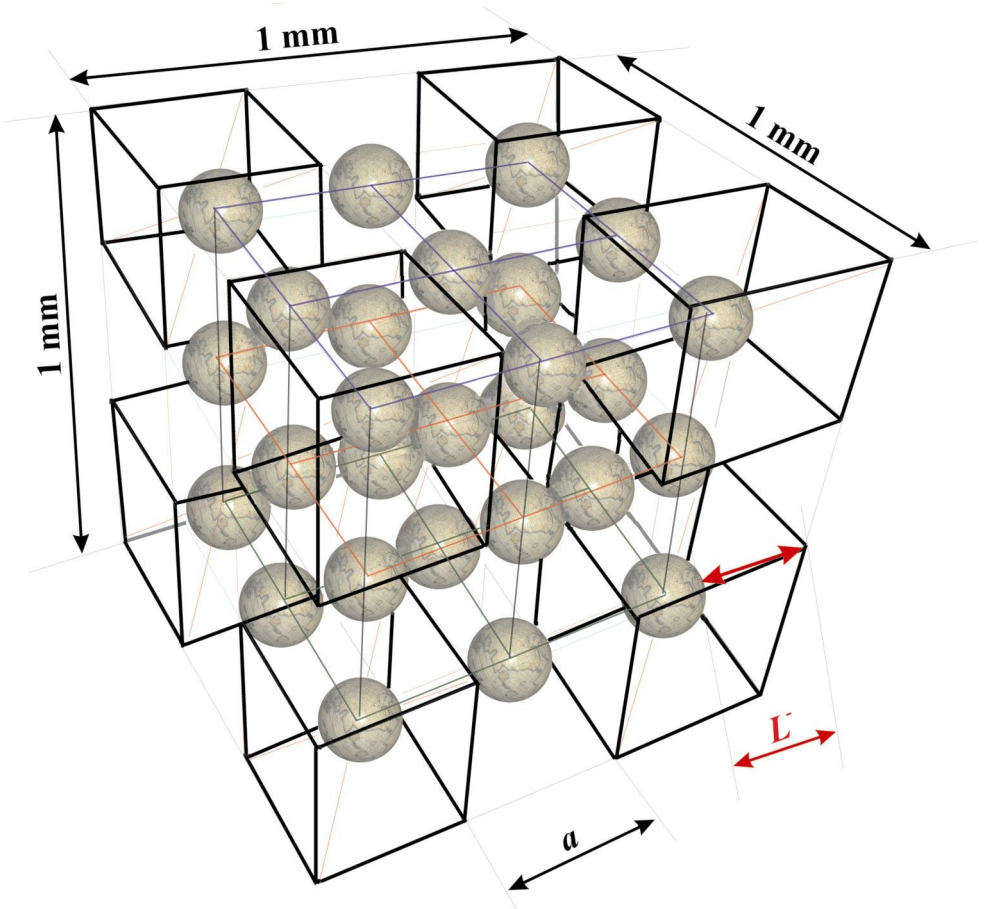
A beton tartósságának egyik feltétele a fagy- és olvasztósó-állóság ❖. A megszilárdult beton pórusaiban lévő víz téli hidegek alkalmával – számos tényezőtől befolyásolva – nagy valószínűséggel megfagy. A fagyáskor keletkező jég térfogata a vízénél mintegy 9 %-kal nagyobb, ezért a még meg nem fagyott víz (ilyen a cementkő gélpórusaiban -60 °C hőmérsékletig található) hidraulikus nyomás alá kerül, és megindul a víz áramlása az üres pórusokba, telítetlen üregekbe, lényegében a gélpórusok ❖ felől a kapilláris pórusok ❖ felé (diffúzió), ahol a jégtartalmat és annak nyomását tovább növeli (*Balázs*, 1997). Minden felmelegedés során a gélpórusrendszer tágul, visszaáll az eredetihez közeli nyomásállapot, a gélpórusokban a nyomás csökken, aminek hatására azok vizet vesznek fel azokból a kapillárisokból, amelyekben még van meg nem fagyott víz. Ez a folyamat minden lehülés-felmelegedés-lehülés alkalmával megismétlődik mindaddig, amíg a kapilláris pórusokban a *kritikus víztelítettség* létre nem jön, és ezért *Setzer* (2000) a jelenséget termodinamikai modelljében „mikro-jéglencse pumpálás”-nak nevezi. A jégképződés hatására a cementkőben olyan nagy nyomás alakulhat ki (-10 °C hőmérsékleten kb. 100 N/mm^2, -23 °C hőmérsékleten kb. 200 N/mm^2), amely a betont megrepeszti. (*Balázs*, 1997).

Kritikus víztelítettségnek a fagykárosodást okozó víztartalom határértékét nevezzük. Ez a beton korától (hidratáció foka, pórusstruktúra), a légpóruseloszlástól (beleértve a mesterségesen képzett légbuborékokat is), a környezeti feltételektől (vízelpárolgás mértéke és sebessége), a lehűlés sebességétől, a fagyási-olvadási ciklusok gyakoriságától, a ciklusok közötti száradás mértékétől, a pótlólagos duzzadási terek kialakulásától stb. függ (*Ujhelyi*, 2005).

Az utak téli *jégolvasztó-sózása* – amelynek hatása hasonlít a fagyhatáshoz – a beton károsodását tovább növeli. A betonban a sóoldat-koncentráció nem egyenletes, a különböző sótelítettségű rétegek fagyáspontja különböző. A sódúsabb, később megfagyó közbenső réteg jég és kapilláris nyomása lerepeszti a fölötte lévő, már fagyott, sószegényebb réteget (réteges felfagyás). (*Balázs*, 1997).

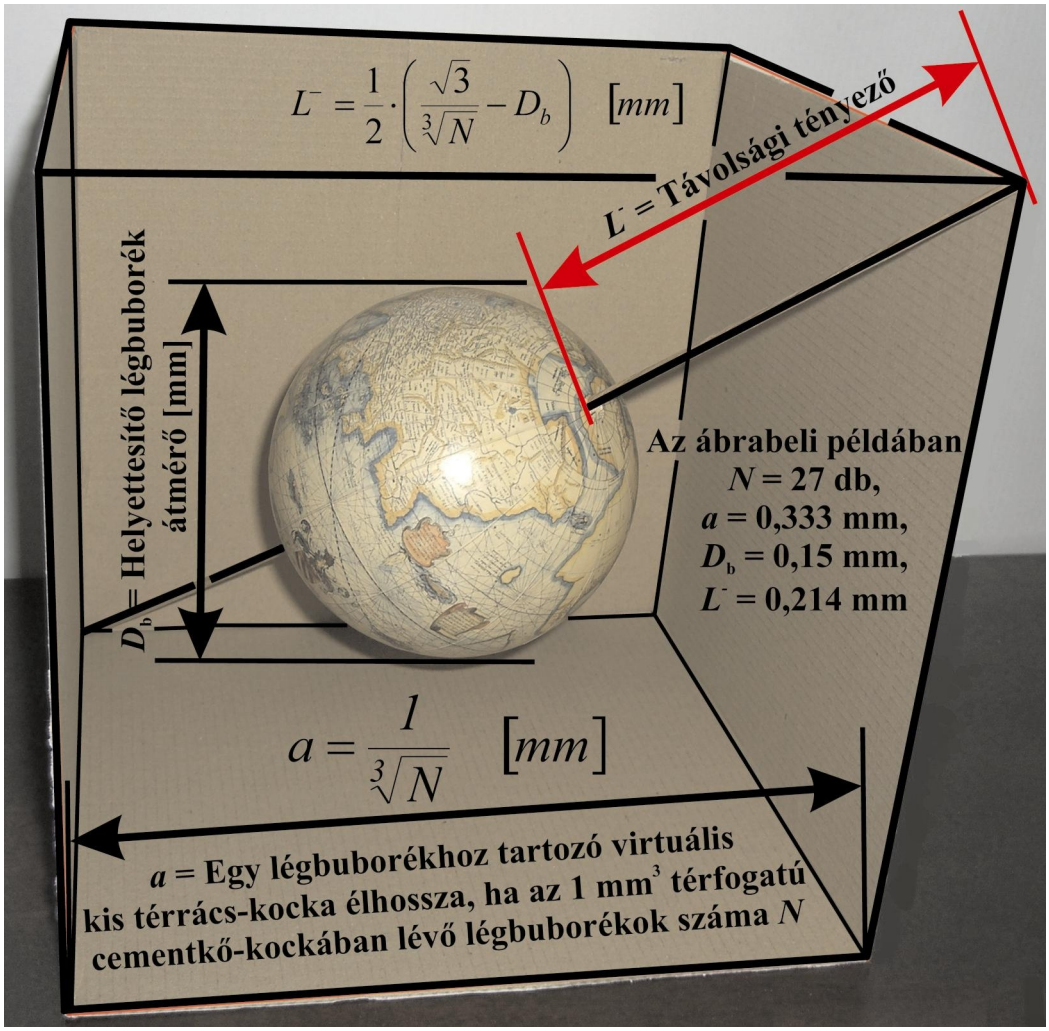
Az egyébként kritikus víztelítettségű betonban a fagy- és olvasztósó-kár csak akkor kerülhető el, ha légbuborékképző adalékszerrel (Betonadalékszerek 2. ❖) elegendő mennyiségű és kellően apró, vízzel ki nem töltődő pórust, ún. *légbuborékot* képezünk a betonban. A légbuborék kritikus víztelítettség mellett sem telik meg vízzel. A légbuborékképző adalékszerrel szándékosan bevitt levegő mennyiségét *bevitt* vagy *képzett* levegőtartalomnak, *légbuboréktartalomnak* nevezzük (MSZ 4798-1:2004), és feltételezzük, hogy nagysága általában kisebb, mint 0,75 mm. (Mennyiségének jele: A_{750} vagy német nyelvterületen: L750.) A közel gömb alakú légbuborékoknak – a fagy- és olvasztósó-állóság szempontjából – az a tartománya *hatékony*, amelynek átmérője 0,01 mm és 0,30 mm közé esik. Ezeknek a hatékony mikrolégbuboréknak a mennyiségét a betonban (jele: A_{300} vagy német nyelvterületen: L300, térfogat%-ban) és a *távolsági tényezővel* kifejezett eloszlását a cementkőben a megszilárdult betonból kimunkált felületen kell vizsgálni és meghatározni az MSZ EN 480-11:2006 szerint. Az MSZ EN 480-11:2006 szerinti sztereomikroszkópos

vizsgálat az ASTM C 457:1998 szabványon alapul. A légbuborék szerkezet vizsgálata egy olyan idealizált cementkő-modellt feltételez, amelyben egyforma méretű, gömb alakú légbuborékok egyenletes eloszlásban, köbös térrácsban helyezkednek el, és az idealizált légbuborék szerkezetnek ugyanakkora az összes térfogata és a térfogati fajlagos felülete, mint a tényleges hatékony légbuborék szerkezetnek (*1. ábra*). Ebben a cementkő-modellben a *távolsági tényező* (jele: $\bar{L}$, mm-ben; Megjegyzés: a ¯ felülvonás általában az *L* betű fölé van nyomtatva, de ilyen betűvel nem rendelkezem, KT.) a cementkőben a *térrács átlója* mentén egymás mellett fekvő két légbuborék felülete közötti névleges távolság fele (*2. ábra*). Ez a leghosszabb távolság, amelyet a nyomás hatására a vízmolekulának meg kell tennie ahhoz, hogy egy buborékfelszínhez érjen.



Az 1 mm³ térfogatú virtuális cementkő-kockában köbös térrács szerint elhelyezkedő, az ábrabeli példában a D_b= 0,15 mm névleges átmérőjű légbuborékok száma: N= 27 db, egy légbuborékhoz tartozó kis térrács-kocka élhossza: $a = N^{-1/3}$ = 0,333 mm, a távolsági tényező: $\bar{L}$= 0,214 mm

1. ábra: Idealizált cementkő-modell köbös térrácsban elhelyezkedő hatékony helyettesítő légbuborék szerkezettel



2. ábra: A hatékony helyettesítő légbuborék térfogateleme és a távolsági tényező az *1. ábra* szerinti példa alapján

Követelmények

A légbuborékképző adalékszerrel készített fagyálló, illetve fagy- és olvasztósó-álló, XF2 – XF4 környezeti osztályú ❖ *friss beton* ❖ összes levegőtartalmának ❖ előírt legkisebb értéke 4,0 térfogat%, megengedett legnagyobb értéke 8,0 térfogat% (MSZ 4798-1:2004). A felső korlátra azért van szükség, mert 1,0 térfogat% légpórustartalom növekedés 4-5 % beton nyomószilárdság csökkenést okoz.

Figyelemre méltó és követendő, hogy az osztrákok és a németek a légbuborékos friss beton összes levegőtartalmával szemben támasztott követelményeket ennél részletesebben adják meg. Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. és 5.5.5. szakaszában, valamint NAD 10. táblázatában a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmát a friss cementpépben és a friss betonban, ill. péptelített friss betont feltételezve az adalékanyag legnagyobb szemnagyságára vetítve írják elő. A német TL Beton-StB 07 útbeton műszaki szállítási feltétel a friss beton összes levegőtartalmának előírásakor szintén figyelembe veszi az adalékanyag legnagyobb szemnagyságát (*1. táblázat*).

1. táblázat: A légbuborékos friss beton levegőtartalmának követelménye az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány és a német TL Beton-StB 07 útbeton műszaki szállítási feltétel szerint

<table>
<tr><th colspan="3">Osztrák előírás</th></tr>
<tr><td colspan="3">Az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. és 5.5.5. szakaszában, valamint NAD 10. táblázatában előírják a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmát a friss cementpépben és a friss betonban, ill. péptelített betont feltételezve az adalékanyag legnagyobb szemnagyságára (zárójelben az MSZ 4798-1:2004 szabványnak megfelelő D_{max} érték) vetítve a friss betonban, valamint a megszilárdult fagy- és olvasztósó-álló betonok hatékony légbuboréktartalmát és távolsági tényezőjét a következőképpen:</td></tr>
<tr><td>Környezeti osztály</td><td>XF2 és XF3</td><td>XF4</td></tr>
<tr><td>Összes levegőtartalom a friss cementpépben, legalább, térfogat%</td><td>9,0</td><td>13,0</td></tr>
<tr><td>Összes levegőtartalom a friss betonban, legalább, térfogat%</td><td>2,5</td><td>4,0</td></tr>
<tr><td>Összes levegőtartalom a friss betonban, legfeljebb, térfogat%</td><td>2,5 + 4,0 = 6,5 *</td><td>4,0 + 4,0 = 8,0</td></tr>
<tr><td>Legnagyobb szemnagyság, mm</td><td colspan="2">Összes levegőtartalom a friss betonban, térfogat%</td></tr>
<tr><td>4</td><td>4,0 – 6,0</td><td>7,0 – 11,0</td></tr>
<tr><td>8 és 11 (12)</td><td>4,0 – 6,0</td><td>6,0 – 10,0</td></tr>
<tr><td>16</td><td>3,0 – 5,0</td><td>4,5 – 8,5</td></tr>
<tr><td>22 (24) és 32</td><td>2,5 – 5,0</td><td>4,0 – 8,0</td></tr>
<tr><td>63</td><td>2,0 – 4,0</td><td>3,0 – 7,0</td></tr>
<tr><td colspan="3">* Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. szakasza és NAD 10. táblázata szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke 5,0 térfogat%, hacsak a kezdeti vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható.</td></tr>
<tr><td>0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű (hatékony) légbuborékok mennyisége a szilárd betonban (jele: A_{300} vagy L300), térfogat%</td><td>1,0 – 3,0 **</td><td>1,8 – 5,0</td></tr>
<tr><td>Távolsági tényező a szilárd betonban (jele: AF), legfeljebb, mm</td><td>–</td><td>0,18</td></tr>
<tr><td colspan="3">** Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.5.5. szakasza szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban a hatékony légbuborékok mennyisége akkor lehet 3,0 térfogat%-nál több, ha az 5,0 térfogat% feletti összes levegőtartalom ártalmatlanságát igazolták.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Német előírás</th></tr>
<tr><td colspan="3">A német TL Beton-StB 07 útbeton műszaki szállítási feltétel 4.7. szakasza szerint a légbuborékos friss beton összes, átlagos levegőtartalma 8 mm legnagyobb szemnagyság esetén legalább 5,5 térfogat%, 16 mm legnagyobb szemnagyság esetén legalább 4,5 térfogat%, 22 mm, ill. 32 mm legnagyobb szemnagyság esetén legalább 4,0 térfogat% legyen. Az egyes mért értékeknek legfeljebb 0,5 térfogat%-kal szabad kisebbnek lenniük, mint az átlag követelményérték.
Ha a képlékeny konzisztenciájú betont képlékenyítő vagy a kissé képlékeny konzisztenciájú betont folyósító adalékszerrel állítják elő, akkor a friss beton megkövetelt összes, átlagos levegőtartalma a fenti követelményértékeknél 1,0 térfogat%-kal nagyobb.
Ha a kezdeti vizsgálat (lásd az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 3.1.41. szakaszát, „A” mellékletét stb.) során a szilárd beton légbuboréktartalmát meghatározták, és hatékony légbuborékok mennyisége elérte az A_{300} = 1,8 térfogat%-ot (lásd az 1. táblázatot), a távolsági tényező pedig nem lépte túl az AF = 0,20 mm-t, akkor a friss beton összes levegőtartalmára a fenti követelmény érvényes. Egyébként a kezdeti vizsgálat szerint friss beton összes, átlagos levegőtartalmának legfeljebb 0,5 térfogat%-kal szabad a fenti követelményértékeknél nagyobbnak lennie.
Folyós konzisztencia esetén a szilárd beton légbuboréktartalmát mindig meg kell határozni.</td></tr>
</table>

Ha az érdekelt felek a bedolgozott friss betonon mért vagy számított levegőtartalom kimutatásával nem elégszenek meg, vagy megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálat elhagyásában, vagy egyéb szempontok szólnak mellette, akkor a beton megfelelőségének igazolásához a *megszilárdult beton* próbatestből (vagy ritkán a kész szerkezetből vett magmintákból, ugyanis az értékeléshez ismerni kell a beton pontos összetételét is) kimunkált és megcsiszolt próbatesteken kell a *légbuborékok távolsági tényezőjét és mennyiségét* az MSZ EN 480-11:2006 szerinti sztereomikroszkópos vizsgálattal meghatározni. Ha a légbuborék-szerkezetet meghatározzák, akkor az XF2 és XF3 környezeti osztályban a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálata elhagyható, az XF4 környezeti osztályban pedig ajánlott a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálata mellett is meghatározni.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint a megszilárdult betonban a légbuborékok távolsági tényezője legfeljebb 0,22 mm legyen. Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány ennél szigorúbb, ugyanis azt a légbuborékképző adalékszert tekinti megfelelőnek, amely a szilárd betonba ≤ 0,20 mm távolsági tényezőt hoz létre. Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány követelménye továbbá, hogy a légbuborékképzős friss beton összes levegőtartalma legalább 2,5 térfogat%-kal legyen nagyobb, mint a légbuborékképző nélküli beton levegőtartalma, és a friss beton összes levegőtartalma 4 – 6 térfogat% között legyen. A 28 napos korú, légbuborékképző adalékszerrel készült beton nyomószilárdságának el kell érnie a légbuborékképző adalékszer nélkül készített ellenőrző beton nyomószilárdságának 75 %-át. (Betonadalékszerek 2. ❖).

Az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázata az XF4 környezeti osztályban egyedüliként 0,18 mm-nél kisebb távolsági tényezőt (*AF*) ír elő. Megköveteli, hogy a 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű (hatékony) légbuborékok mennyisége (L300) a *szilárd betonban* az XF2 és XF3 környezeti osztály esetén 1,0 – 3,0 térfogat%, az XF4 környezeti osztály esetén 1,8 – 5,0 térfogat% közé kell essék. Az osztrák szabvány 5.5.5. szakasza szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban a hatékony légbuborékok mennyisége akkor lehet 3,0 térfogat%-nál több, ha az 5,0 térfogat% feletti összes levegőtartalom ártalmatlanságát igazolták. E szabvány NAD 10. táblázata arról is intézkedik, hogy ha valamely előírás nem a 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű, hatékony légbuborékok (L300), hanem az összes légbuborék mennyiségét szabályozza, akkor a légbuborékokat 0,75 mm névleges átmérőig (L750) kell számításba venni.

Vizsgálat és az eredmények értékelése számpéldával

A megszilárdult beton hatékony légbuboréktartalmát és távolsági tényezőjét az MSZ EN 480-11:2006 szerint kell meghatározni.

A két darab kb. 100·150·40 mm méretű vizsgálati próbalemezt legkorábban a beton 7 napos korában szabad a víz alatt tárolt, ismert összetételű próbakockák közepéből kivágni. A számításokhoz a beton összetételéből meg kell határozni a cementkő térfogatarányát (jele: *P*). A vizsgálati felületet nedves, majd finom csiszolással kell előkészíteni a mikroszkópos vizsgálathoz. A leolvasások megkönnyítésére a légpórusokat meg lehet tölteni, pl. cinkpéppel. A próbalemezen három sávban, egymástól 6 mm távolságra, 3·4 mérővonalat kell felvenni, amelyek összes hossza legalább 1200 mm.

Az MSZ EN 480-11:2006 szabvány a légpóruseloszlás meghatározására a B.1. táblázatban számpéldát mutat be (*2. táblázat*). A következőkben – mondandók követhetősége érdekében – szögletes zárójelben hivatkozunk e szabvány B.1. táblázatának 18. sorában megadott számértékekre, kerekítés nélkül. (Az *1.* és *2. ábrán* szereplő adatok nem ehhez a számpéldához tartoznak.)

2. táblázat: Az MSZ EN 480-11:2006 szabvány a B.1. táblázata, amely számpéldát tartalmaz a betonban lévő légpórusok eloszlásának meghatározására (A táblázatra kattintva az kinagyítható.)

B.1 táblázat: Légbuborék-eloszlás számítása MSZ EN 480-11:2006 A táblázat a betonban lévő légpórusok eloszlásának számítását mutatja be.

Mérővonalak teljes hossza, T_{tot}	2400 mm

Oszlop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	Osztály sor-száma	Osztályhatárok	Húrok száma az osztályban	Húrgyakoriság	Légbuborék metszet felületaránya	Húrok száma beton mm^3-enként	Légbuborékok száma az osztályban beton mm^3-enként	Egy légbuborék térfogata	Légbuborék tartalom osztályonként	Összes légbuborék tartalom
Számítási utasítás		[1] $y - y'$	Mért C_i darabszám	3. oszlop adata osztva T_{tot} értékkel	[1] Átmetszési valószínűség	4. oszlop adata osztva az 5. oszlop adatával	6. oszlop adatából kivonva a 6. oszlop következő adatát	[1] Falra onlógó határ átmérőjű pórus	7. oszlop adata szorozva a 8. oszlop adatával és 100-zal	9. oszlop adatainak göngyölített értéke
Mértékegység		µm	db	db/mm^{-1}	~~1/mm²~~	mm^{-3}	db/ mm^{-3}	mm^3	térfogat %	térfogat %
	1.	0 - 10	65	0,02708	0,0001178	229,90945	140,483	$5{,}24 \times 10^{-7}$	0,007	0,01
	2.	15 - 20	58	0,02438 17	0,0002749	~~89,42646~~ 89,26288	~~9,372~~ 7,869	$4{,}19 \times 10^{-6}$	0,004 3	0,01
	3.	25 - 30	83	0,03458	0,0004320	80,05401	6,483	$1{,}41 \times 10^{-5}$	0,009	0,02
	4.	35 - 40	104	0,04333	0,0005890	73,57102	24,427	$3{,}35 \times 10^{-5}$	0,082	0,10
	5.	45 - 50	88	0,03667	0,0007461	49,14444	13,161	$6{,}54 \times 10^{-5}$	0,086	0,19
	6.	55 - 60	78	0,03250	0,0009032	35,98317	11,108	$1{,}13 \times 10^{-4}$	0,126	0,31
	7.	65 - 80	136	0,05667	0,0022780	24,87562	13,405	$2{,}68 \times 10^{-4}$	0,359	0,67
	8.	85 - 100	80	0,03333	0,0029060	11,47052	3,925	$5{,}24 \times 10^{-4}$	0,206	0,88
	9.	105 - 120	64	0,02667	0,0035340	7,54575	2,341	$9{,}05 \times 10^{-4}$	0,212	1,09
	10.	125 - 140	52	0,02167	0,0041630	5,20458	2,682	$1{,}44 \times 10^{-3}$	0,386	1,48
	11.	145 - 160	29	0,01208	0,0047910	2,52209	0,600	$2{,}14 \times 10^{-3}$	0,128	1,61
	12.	165 - 180	25	0,01042	0,0054190	1,92225	0,613	$3{,}05 \times 10^{-3}$	0,187	1,79
	13.	185 - 200	19	0,00792	0,0060476	1,30906	0,623	$4{,}19 \times 10^{-3}$	0,261	2,05
	14.	205 - 220	11	0,00458	0,0066760	0,68654	0,230	$5{,}58 \times 10^{-3}$	0,128	2,18
	15.	225 - 240	8	0,00333	0,0073040	0,45637	0,036	$7{,}24 \times 10^{-3}$	0,026	2,21
	16.	245 - 260	8	0,00333	0,0079330	0,42019	0,079	$9{,}20 \times 10^{-3}$	0,073	2,28
	17.	265 - 280	7	0,00292	0,0085610	0,34069	0,114	$1{,}15 \times 10^{-2}$	0,131	2,41
	18.	285 - 300	5	0,00208	0,0091890	0,22672	0,032	$1{,}41 \times 10^{-2}$	0,046	2,46 [2]
	19.	305 - 350	12	0,00500	0,0257200	0,19440	0,054	$2{,}24 \times 10^{-2}$	0,121	2,58
	20.	355 - 400	10	0,00417	0,0296500	0,14053	0,016	$3{,}35 \times 10^{-2}$	0,055	2,63
	21.	405 - 450	10	0,00417	0,0335800	0,12408	0,035	$4{,}77 \times 10^{-2}$	0,168	2,80
	22.	455 - 500	8	0,00333	0,0375000	0,08889	0,072	$6{,}54 \times 10^{-2}$	0,471	3,27
	23.	505 - 1000	24	0,01000	0,5910000	0,01692	0,014	$5{,}24 \times 10^{-1}$	0,753	4,03
	24.	1005 - 1500	6	0,00250	0,9837000	0,00254	0,0010	1,77	0,182	4,21
	25.	1505 - 2000	5	0,00208	1,3760000	0,00151	0,0008	4,19	0,338	4,55
	26.	2005 - 2500	3	0,00125	1,7690000	0,00071	0,0005	8,18	0,420	4,97
	27.	2505 - 3000	1	0,00042	2,1620000	0,00019	0,0002	$1{,}41 \times 10^{+1}$	0,272	5,24
	28.	3005 - 4000	0	0,00000	5,5020000	0,00000	0,0000	$3{,}35 \times 10^{+1}$	0,000	5,24

[1]) Az 1., 2., 5., és 8. oszlop értékei minden vizsgálat esetén azonosak. [2]) A 10. oszlopban bekeretezett adat az A_{300} értéknek felel meg.

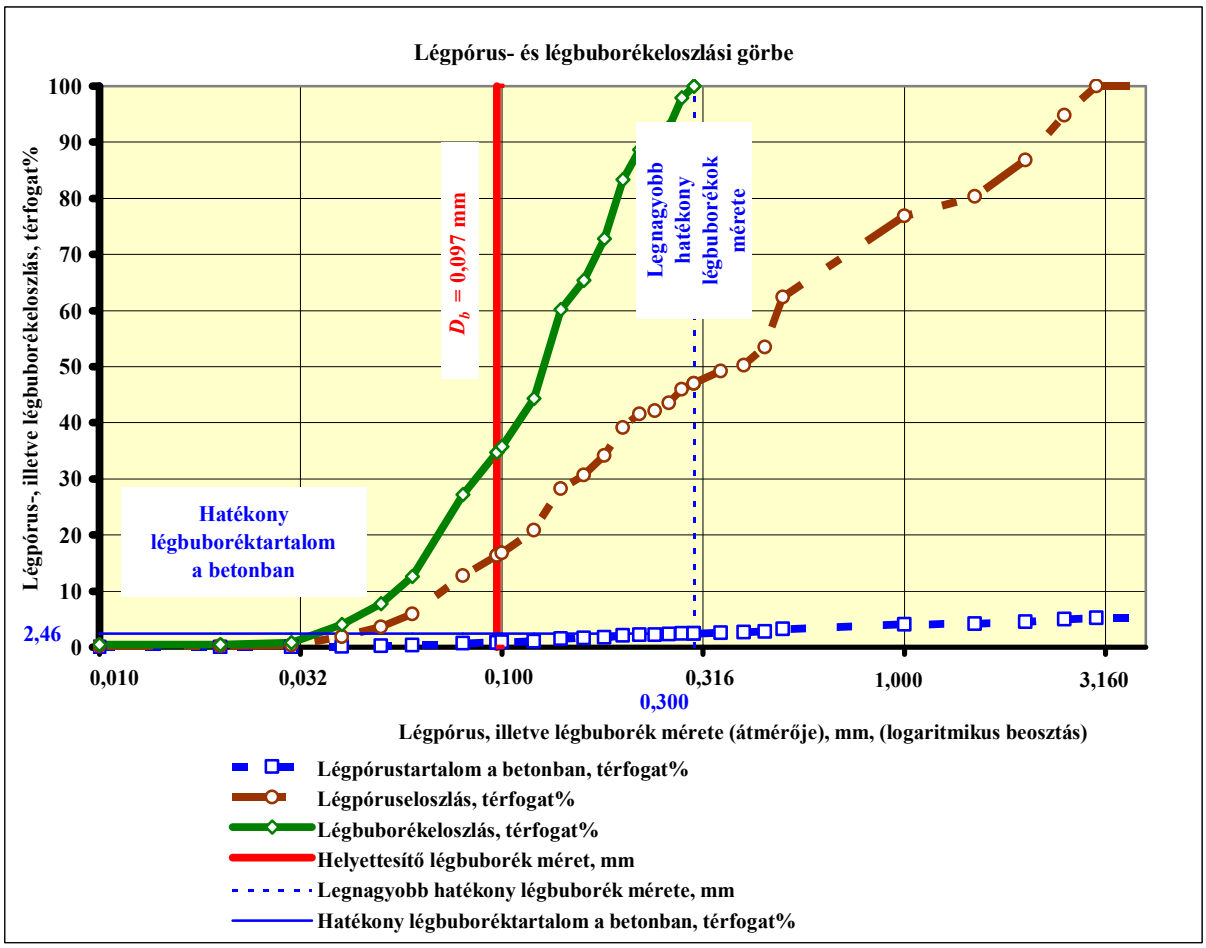
A mérés során feltételezzük, hogy a pórusok gömb alakúak. Az integráló mérőasztallal ellátott, (100±10)-szeres nagyítású sztereomikroszkóppal a mérővonallal átmetszett minden 0-4 mm közötti húrhosszúságú pórust számításba kell venni, kivéve, ha az egyértelműen repedés. (A hosszabb húrokat kihagyva jobb eredmény adódik.) A sztereomikroszkóp segítségével le kell mérni a légpórusok egyenkénti és összes húrhosszát (T_a), valamint a szilárd részek összes hosszát (T_s) amely két utóbbi összege a mérővonalak teljes hosszát (T_{tot}) adja. A két vizsgálati felületen mért húrhosszakat 28 húrhosszúsági osztályba kell sorolni [2. oszlop: 0,285-0,300 mm], és osztályonként meg kell adni a két vizsgálati felületen metszett légpórus-húrok darabszámát (jele: C_i) [3. oszlop: 5 db], majd az osztályonkénti darabszámot el kell osztani a két vizsgálati felület mérővonalai hosszának összegével (pl. 2400 mm-rel) [4. oszlop: 0,0020833]. Az eredmény a húroknak darabszám szerinti – a mérővonal hosszra vonatkoztatott – gyakorisága, más szóval a húrok fajlagos darabszáma osztályonként, a mértékegység: mm^{-1}.

Nem minden pórust metszenek át a mérővonalak, ezért a légpóruseloszlás meghatározásához valószínűségi meggondolást kell tenni. Annak valószínűsége, hogy a mérővonal valamely húr hosszúsági osztály határértéknél kisebb húrhosszúságú légpórust átmetsz, egyenlő az osztály határérték átmérőjű kör területének és az 1 mm^3 betontérfogat keresztmetszetének (1 mm^2) hányadosával. Ebből következik, miszerint 1 mm^3 betontérfogat keresztmetszetére vonatkoztatva, annak a valószínűsége, hogy a mérővonal valamely húrhosszúsági osztály határértékei közé eső (tehát a húr hosszúsági osztályba tartozó) húrhosszúságú légpórust átmetsz, egyenlő az osztály felső határértékének megfelelő átmérőjű kör területének és az osztály alsó határértékének megfelelő átmérőjű kör területének különbségével [5. oszlop: 0,0091890]. Ez az átmetszési valószínűség nevezetlen szám, és a

húrhosszúsági osztályhoz tartozó állandó. Ha a húrok fajlagos darabszámát [4. oszlop: 0,0020833] elosztjuk az átmetszési valószínűséggel [5. oszlop: 0,0091891], akkor az adott osztályhatárok közé eső húrhosszúságú pórusok 1 m^3 térfogatú betonban lévő darabszámát kapjuk meg, függetlenül attól, hogy azokat a metszővonalak metszették-e vagy sem [6. oszlop: 0,22671 db/mm^3]. A mérővonallal átmetszett húr a pórusnak nem feltétlenül az átmérője, hanem lehet a húrhossznál nagyobb átmérőjű pórus húrja. Így a példabeli 18. húrhosszúsági osztály a 0,285 mm-nél nagyobb átmérőjű összes pórus darabszámát [6. oszlop: 0,22671 db/mm^3], a 19. húrhosszúsági osztály a 0,305 mm-nél nagyobb átmérőjű összes pórus darabszámát [6. oszlop: 0,19440 db/mm^3] tartalmazza, a kettő különbsége a 0,285 – 0,305 mm közé eső átmérőjű pórus darabszámát adja meg [7. oszlop: 0,032 db/mm^3]. Állandóként kell kiszámítani a húrhosszúsági osztály felső határértékével azonos nagyságú gömb térfogatát [8. oszlop: $1{,}41271 \cdot 10^{-2}$ mm^3/db]. A húrhosszúsági osztályba eső átmérőjű, 1 mm^3 betonban lévő pórusok darabszámát [7. oszlop: 0,032 db/mm^3] megszorozva egy pórus térfogatával [8. oszlop: $1{,}41371 \cdot 10^{-2}$ mm^3/db], a húrhosszúsági osztályba tartozó, 1 mm^3 betonban lévő összes pórus térfogatát kapjuk meg [$4{,}523 \cdot 10^{-4}$ mm^3/mm^3], amelyet térfogat%-ban fejezünk ki [9. oszlop: 0,045 térfogat%]. A húrhosszúsági osztály felső határértékénél kisebb átmérőjű összes légpórus mennyiségét a betonban, azaz a légpóruseloszlás értékét, e felső és ennél kisebb határértékű húrhosszúsági osztályba tartozó, 1 mm^3 betonban lévő összes pórus térfogatszázalékának összegeként kapjuk meg [10. oszlop: 2,46 térfogat%]. Minthogy a szabványos meghatározás szerint hatékonynak azokat a légbuborékokat tekintjük (az alsó határértéktől elvonatkoztatva), amelyek átmérője 0,3 mm-nél kisebb, ezek mennyisége a betonban az MSZ EN 480-11:2006 szabvány B.1. táblázatának példája szerint A_{300} = 2,46 térfogat%.

Az MSZ 480-11:2006 szabvány B.1. táblázatának példája szerinti beton légpórustartalmát [10. oszlop értékei] a *3. ábrában* rajzoltuk meg. A légpóruseloszlás görbéjét a légpórustartalom görbe renormálásával kaptuk. Ennek a 0,3 mm alatti részét 100 térfogat%-nak tekintve állítottuk elő a légbuborékeloszlás görbéjét.

A légbuborékeloszlás görbéjét reciprok beosztású abszcissza-tengely felett megrajzolva (*4. ábra)* és a görbe alatti területet (T = 10,273 mm^2/mm^3) grafoanalitikusan meghatározva (*Kausay,* 2004), majd véve ennek hatszorosát, kiszámítottuk a légbuborékok térfogati fajlagos felületét (f_v = 61,639 mm^2/mm^3) (Szemmegoszlási jellemzők ❖). Alkalmazva a $D_b = 6/f_v$ összefüggést, megkaptuk annak a hatékony „egyszemcsés” helyettesítő légbuboréknak a méretét (D_b = 0,097 mm), amelynek ugyanakkora térfogati fajlagos felülete van, mint a példabeli légbuborékeloszlásnak (*4. ábra*). Egy helyettesítő légbuborék térfogata: $V_b = 4{,}778 \cdot 10^{-4}$ mm^3. A helyettesítő légbuborék D_b méretét a *3. ábrán* is feltüntettük.



3. ábra: Az MSZ 480-11:2006 szabvány B.1. táblázata szerinti példa légpórus- és légbuborékeloszlása

Az $\bar{L}$ távolsági tényező meghatározásához elő kell állítani az idealizált cementkő-modellt. Tételezzük fel, hogy a példabeli beton friss korában, bedolgozott állapotban ténylegesen 1800 kg/m^3 adalékanyagot tartalmazott és az adalékanyag testsűrűsége 2,64 kg/dm^3 volt. Ebből az összetételből adódik, hogy a vizsgált beton 1000 litere friss korában V_a = 1800/2,64 = 681,8 liter térfogatú adalékanyagot tartalmazott. Eszerint a vizsgált beton cementkőtartalma:

$$P = \frac{1000 - V_a}{1000} = \frac{1000 - 681{,}8}{1000} = 0{,}3182 \quad m^3 / m^3$$

A vizsgálat eredményeként fenn azt kaptuk, hogy a beton hatékony légbuboréktartalma: A_{300} = 2,46 térfogat%. Tekintve, hogy a légbuborékok a cementkőben találhatók, a cementkő hatékony légbuboréktartalma:

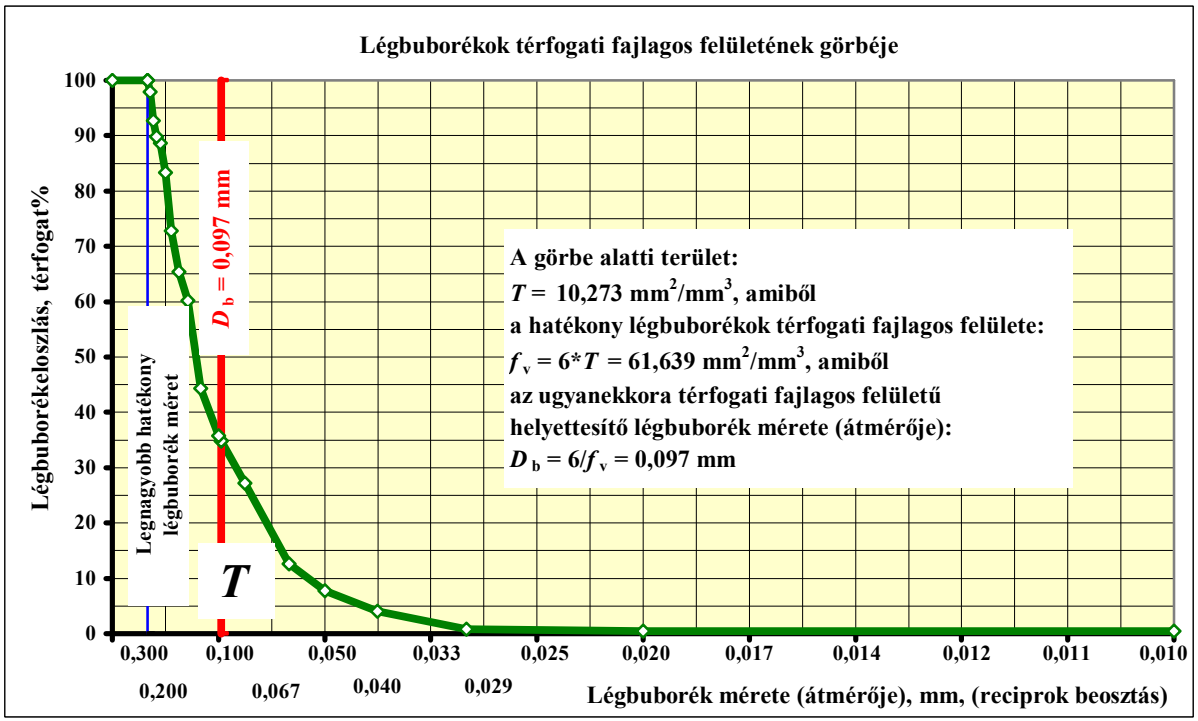
$$L_{CK}{}^{\%} = \frac{A_{300}}{P} = \frac{2{,}46}{0{,}3182} = 7{,}73 \quad térfogat\ \%$$

Ha a példában egy helyettesítő légbuborék térfogata (mint fenn láttuk): $V_b = 4{,}778 \cdot 10^{-4}$ mm^3, akkor az 1 mm^3 térfogatú cementkőben lévő összesen $L_{CK} = L_{CK}{}^{\%}/100 = 7{,}73 \cdot 10^{-2}$ mm^3 térfogatú hatékony légbuborék mennyiséget

$$N = \frac{L_{CK}}{V_b} = \frac{7{,}73}{4{,}778} \cdot 10^2 = 161{,}76 \quad darab$$

légbuborék képezi. Fentiek szerint a távolsági tényező értéke az $N^{-1/3}$ [mm] élhosszúságú elemi cementkő kocka átlója és a helyettesítő hatékony légbuborék D_b átmérője különbségének a fele. Ha az 1 mm^3 térfogatú elemi cementkő kockában N = 161,76 db, D_b = 0,097 mm átmérőjű helyettesítő hatékony légbuborék van, akkor a példabeli távolsági tényező értéke:

$$\bar{L} = \frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt[3]{N}} - D_b\right) = \frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt[3]{161{,}76}} - 0{,}097\right) = 0{,}110 \quad mm$$



4. ábra: Az MSZ 480-11:2006 szabvány B.1. táblázata szerinti példa légbuborékainak térfogati fajlagos felületi görbéje

A légbuborék szerkezet vizsgálatával *Erdélyi* (1997), a vizsgálathoz szükséges csiszolat elkészítésével *Zimonyi* (1997) foglalkozott részletesen. A hagyományos módon végrehajtott, fáradtságos és időigényes vizsgálatot és a vizsgálati eredmények értékelését napjainkban már számítógéppel és videokamerával társított sztereomikroszkópos, automata műszerrel (AAVA, automated air void analyzer) fél órán belül el lehet végezni (*Pade* et al., 2002), (*5. ábra*)

5. ábra: „RapidAir 457" típusú automata műszer a légbuborék szerkezet vizsgálatára.
Forrás: www.concrete-experts.com/pages/air_void.htm

Felhasznált irodalom

Balázs György: A beton károsodásának okai fagy és légköri szennyeződések hatására. Fejezet a „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok" című könyvben (szerk. Balázs György és Tóth Ernő), Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997.

Erdélyi Attila – Zimonyi Gyula: A megszilárdult beton légbuborék-szerkezetének vizsgálata. Fejezet a „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok" című könyvben (szerk. Balázs Gy. és Tóth E.), pp. 164-179., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997.

Kausay Tibor: Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon. Vasbetonépítés, VI. évfolyam, 2004. 1. szám, pp. 3-11.

Pade, C. – Jakobsen, U. H. – Elsen, J.: A New Automatic Analysis System for Analyzing the Air Void System in Hardened Concrete, Proceedings of the International Cement Microscopy Association, pp. 204-213., ed. Jany, L, and Nisperos, A., San Diego, 2002.

Setzer, M. J.: Die Mikroeislinsenpumpe – Eine neue Sicht bei Frostangriff und Frostprüfung. Fejezet a 14. Ibausil Konferencia kiadványában, 1. kötet., Weimar, 2000.

Ujhelyi János: Beton-ismeretek, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2005.

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ EN 480-11:2006 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása

MSZ EN 934-2:2002 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés. Módosítva: A1:2005 és A1:2006

ASTM C 457:1998 Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete

ÖNORM B 4710-1:2007 Beton – Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis. Az ÖNORM EN 206-1 európai szabvány osztrák nemzeti alkalmazási dokumentuma

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2008. november havi számának 8-9. oldalán és 2008. december havi számának 16-18. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

Szilikapor, mikroszilika szuszpenzió

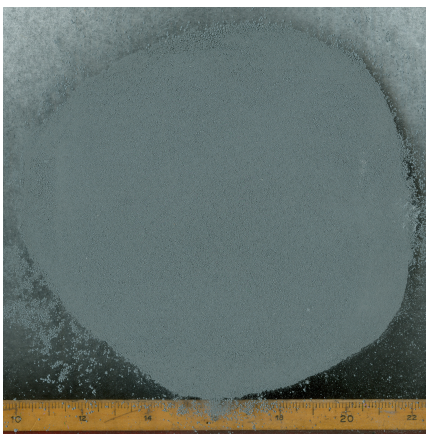
Németül:	Silicastaub, Microsilica-Suspension
Angolul:	Silica fume, microsilica slurry
Franciául:	Fumée de silice, microsilice suspension

A **szilikapor** amorf kvarc, amely puccolános tulajdonsága folytán (mészmodulusa: $CaO/SiO_2 < 0,5$; ezért lassan és csak gerjesztő, esetünkben cement jelenlétében szilárdul), szabályozott körülmények között, különleges betonok ❖ készítéséhez kiegészítő anyagként ❖ használható. A szilikaport nevezik *mikroszilikának* is, amelynek por alakú változata.

A szilikapor szilícium és szilíciumötvözetek, például a – 16-60 mm szemnagyságú kvarckavics, acélhulladék és koksz, illetve faszén alapanyagú – nagy tisztaságú ferro-szilícium gyártása során melléktermékként keletkezik, amikor is az elektromos olvasztó ívkemencében a kvarc (SiO_2) 1650 °C feletti hőmérsékleten megolvad, és egy oxigén-atomot vesztve szilíciumoxid-gőz (SiO) keletkezik. Ezen a magas hőmérsékleten a szilícium-gőz egyik része reakcióba lép a szén elégésekor keletkező szén-dioxiddal, ez adja a fémes, ún. nyers-szilíciumot, másik része a kemence használt levegőjének oxigén-tartalmával reagálva szilícium-tetraoxiddá (SiO_4) alakul, és lehűléskor finom gyöngy alakjában lecsapódik.

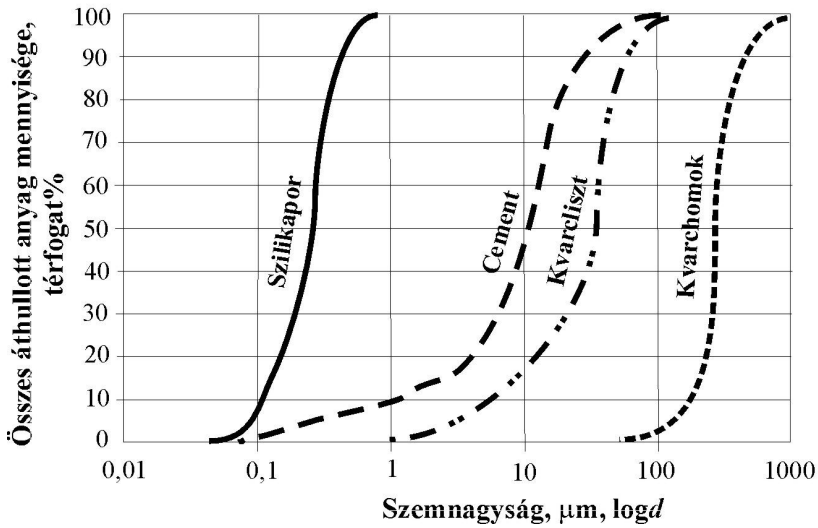
A szilícium-tetraoxid molekulák közös oxigénatomokkal egymáshoz kapcsolódva szabálytalan térhálót képeznek, amelyben ezáltal az oxigén:szilícium elem-arány 2:1, tehát a kiindulási kristályos kvarc egy része amorf alakban voltaképpen szilícium-dioxiddá (SiO_2) alakul vissza. Ezt a finom amorf szilícium-dioxid gyöngyöt dolgozzák fel mikroszilikának nevezett beton kiegészítő anyaggá, por (szilikapor) vagy szuszpenzió (mikroszilika szuszpenzió) formájában.

A szilikapor legalább 85 tömeg% amorf szilícium-dioxidot tartalmaz, a szemek gömb alakúak, átlagos nagyságuk mintegy 0,1 – 0,3 μm, és így lényegében két nagyságrenddel kisebbek, mint a cement szemek, amelyek átlagos szemnagysága 5 – 30 μm (*1. – 4. ábra*). Az MSZ EN 13263-1:2005 szabvány szerint a szilikapor fajlagos felülete ❖ az ISO 9277:1995 szerinti *BET* (*Brunauer, S. – Emmett, P. H. – Teller, E.* nevének kezdőbetűiből) gázadszorpciós módszerrel vizsgálva 150.000 – 350.000 cm^2/g (15 - 35 m^2/g) közé kell, hogy essék, és ezáltal közel két nagyságrenddel nagyobb, mint a cement vagy a pernye fajlagos felülete. (A cement fajlagos felülete mintegy 3.500 – 4.000 cm^2/g *Blaine* szerint.) A szilikapor anyagsűrűsége 2,2 – 2,4 g/cm^3, halmazsűrűsége laza állapotban 0,20 – 0,35 g/cm^3. A szilikapor betonbeli ártalmatlansága érdekében szulfát ($SO_3 \leq 2,0$ tömeg%) és klorid ($Cl^- \leq 0,3$ tömeg%) tartalmát, izzítási veszteségét (≤ 4,0 tömeg%) korlátozzák.



1. – 2. ábra: Szilikapor

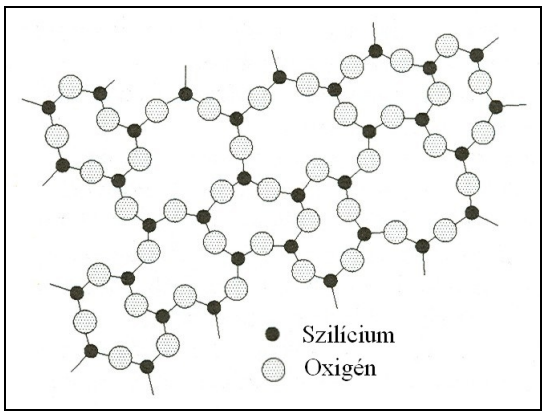
3. ábra: Szilikapor



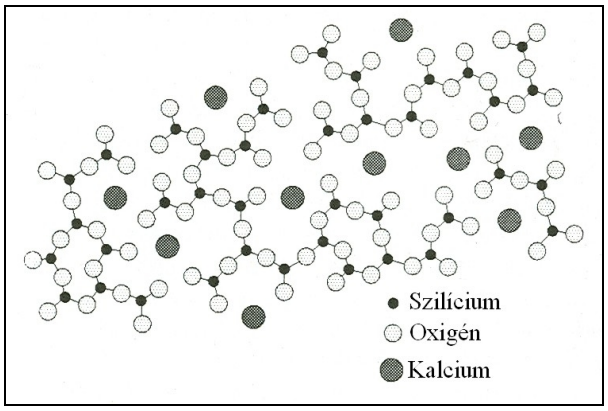
4. ábra: Finom anyagok szemmegoszlási görbéinek összehasonlítása
Forrás: DAfStb, Heft 561. 2008

Eichler, W-R. (1991) szilárdulási modellje szerint a szilikapor – amely szilícium-tetraoxidok (SiO_4^-) szabálytalan térhálója (*5. ábra*), másképp amorf kvarc – vízzel való érintkezéskor a felületén kovasavvá (H_4SiO_4), majd polikovasavvá alakul. A vízben oldott polikovasav bevonja a szilikapor szilárd amorf kvarc fázisát. Ez a szilikapor-szuszpenzió gélképződésének folyamata. Ugyanakkor a cement hidratációja során kalcium-hidroxid keletkezik, amellyel mind a szilárd amorf kvarc, mind a polikovasav reakcióba lép, és eszerint a végtermék különböző lehet. A szilárd amorf kvarc szilícium-tetraoxid térhálójába kalcium-ionok épülnek be (*6. ábra*), ami végül a lúgos környezetben a térháló felhasadását okozza, és kalcium-szilikát-hidrátok képződésére vezet. Az ebből adódó szilárdság-növekmény általában 5-7 nap múlva jelentkezik.

A kalcium-szilikát-hidrát a természetben (például a Balaton-felvidéken Uzsabányán, vagy a Prága-hegyen) is előforduló ásvány, egyik változata a tobermorit ($5CaO{\cdot}3SiO_2{\cdot}5H_2O$ vagy $Ca_5(OH)_2{\cdot}Si_6O_{16}{\cdot}4H_2O$). Mesterséges változata a portlandcementkő, a gázbetonnak (kereskedelmi nevén pórusbetonnak) ❖, a mészhomoktéglának is fontos szilárdság adó ásványa (hidratációs terméke). Rövid jele: CSH. (*7. – 8. ábra*)



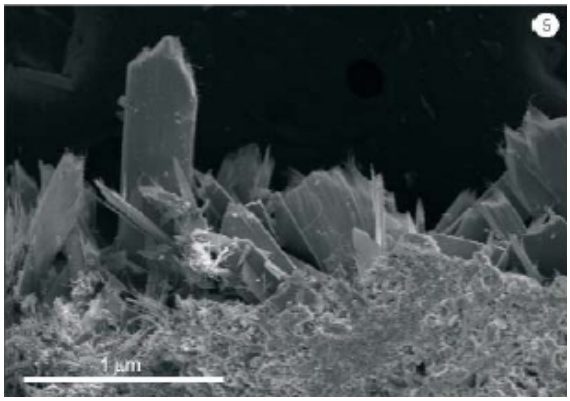
5. ábra: Az amorf kvarc szilícium-tetraoxid térhálója



6. ábra: Az amorf kvarc szilícium-tetraoxid térhálójába kalcium-ionok épülnek be

Forrás: *Eichler, W.-R.*, 1991

7. ábra: Sugaras megjelenésű tobermorit



8. ábra: Tobermorit elektronmikroszkópos képe

Forrás: *Kovács-Pálffy P. – Kónya P. – Földvári M. – Kákay Szabó O. – Bodorkós Zs.*, 2005.

A szilárd amorf kvarcot bevonó szabálytalan szerkezetű, laza kémiai kötésű, vízzel telített polikovasav gél megkeverésekor a laza helyi kémiai kötések felszakadnak, és a gél folyékonnyá válik. A keverés befejezése után rövid időn belül a kémiai kötések helyreállnak, és a gél megdermed. Minthogy a polikovasav gél fajlagos felülete 2.000.000 – 8.000.000 cm^2/g (200 – 800 m^2/g), éppen olyan adszorpciós képessége van, mint az aktív szénnek. Ennek tudható be, hogy a szilárd amorf kvarc felületének és a polikovasav gél felületének közelében lévő vízmolekulákra erős adszorpciós kötőerők hatnak.

A szilikapor tartalmú *beton* belső felülete az eredetinek többszöröse, ezért a szilikaporos betonban az adalékanyagot, cementet és szilikaport bevonó vízréteg a szokásosnál sokkal vékonyabb, és a belső *van der Waal* erők nagyobbak. Emiatt a szilikapor tartalmú beton konzisztenciája a szokásos terülési mértékkel vagy roskadási mértékkel nem fejezhető ki. A friss beton ragadós lesz, földnedvesbe hajló konzisztenciáját folyósító adalékszerrel kell javítani, keverésének energiaigénye nagyobb és módszere választékos. Nagyhatású folyósítószerrel a víz molekulákat összetartó dipól erőkre lehet hatni, a belső kohézió lecsökkenthető, és a szokásos konzisztencia mérő módszerek újra alkalmazhatók.

A szilikapor javítja a beton szulfát- és kloridállóságát, és akár feleslegessé is teheti a szulfátálló cement alkalmazását; csökkenti a beton vízáteresztő-képességét; növeli a beton tapadóképességét az acélbetétekhez és az alapréteghez.

Az utókezelés nélküli szilikaporos beton *zsugorodása* az utókezelt szilikapor nélküli betonénak másfél- kétszerese is lehet, ezért a szilikaporos beton utókezelése, amely ezt a különbséget jelentősen csökkentheti, igen fontos. A szilikapor tartalom általában növeli a beton *rugalmassági modulusát*, és csökkenti a beton *kúszását*. Szilikaporral finomsága, pórus

kitöltő képessége és puccolános szilárdulása folytán nagyon tömör és nagyon nagy szilárdságú betonok készíthetők. A nagy testsűrűség, nyomószilárdság, rugalmassági modulus, és a viszonylag kis kúszás növeli a beton *ridegségét* és *repedés érzékenységét* ❖. A szövetszerkezet szívóssá ❖ tehető, a repedésérzékenység csökkenthető, ha a szilikaporos betonhoz *erősítőszálat* keverünk.

A szilikapor adagolású beton a jelentős anyagköltség ellenére előnyösen alkalmazható szálerősítésű betonok ❖, tartós és nagyszilárdságú betonok (C55/67 – C100/115; LC55/60 – LC80/88) ❖, ultra nagy szilárdságú betonok (nyomószilárdsága 150 – 300 N/mm^2) ❖, előregyártott vasbeton elemek (például tübbingek és egyéb mélyépítési elemek, pörgetett elemek) ❖, feszített vasbeton elemek ❖, vizes vagy száraz eljárású lőtt- (lövellt) betonok ❖, agresszív hatásoknak ellenálló betonok ❖, szivattyús betonok ❖ készítéséhez, de nem szabad alkalmazni feszítőkábelek burkolócsövének injektálására ❖.

Az erős puccolános reakció folytán nagy szilikapor tartalom esetén a pórus víz ❖ – az acélbetét korrózióvédelméhez szükséges – lúgossága a megengedettnél jobban lecsökken, ezért a szilikapor megengedett adagolása a cement tömegére vetítve legfeljebb 11 tömeg% (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004).

A „víz/(cement + *k*·szilikapor) tényező” módosított víz-cement tényező összefüggésben szereplő „*k-érték*” az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint legfeljebb 0,11 = szilikapor/cement tömegarány esetén k = 2,0; de a 0,45 értéknél nagyobb víz-cement tényezővel készülő XC és XF környezeti osztályú betonok esetén csak k = 1,0. A (cement + *k*·szilikapor) mennyisége nem lehet kevesebb, mint a környezeti osztályban ❖ előírt legkisebb cement tartalom. Ha a megengedett legkisebb cement tartalom ≤ 300 kg/m^3, akkor szilikapor kiegészítőanyag alkalmazás esetén a cement tartalmat legfeljebb 30 kg/m^3 értékkel szabad csökkenteni.

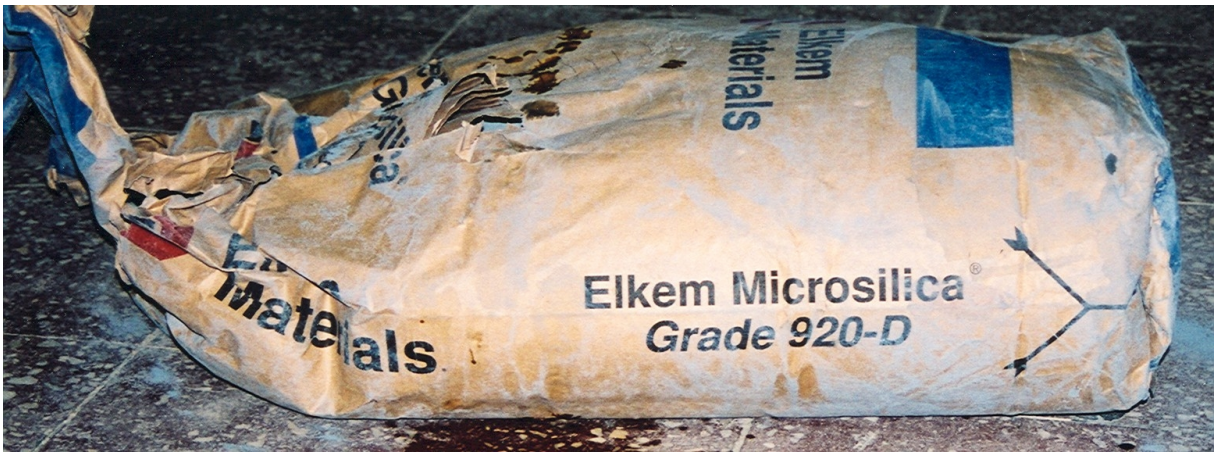
A DIN 1045-2:2001 szabvány szerint az XF2 és XF4 környezeti osztályú beton esetén a szilikaport nem szabad a cementadagolás csökkentésére figyelembe venni. A többi környezeti osztályban, ha a beton CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-P, CEM II/B-P, CEM II/A-V, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL, CEM II/B-M (S-V), CEM III/A és CEM III/B jelű cementtel készül, akkor a (cement + szilikapor) mennyiség el kell érje a környezeti osztályok cementadagolásra vonatkozó követelményét, és a módosított víz-cement tényező: víz/(cement + *k*·szilikapor), ahol *k* = 1,0.

A DIN 1045-2:2001 szabvány szerint a szilikaport pernye kiegészítő anyaggal együtt is szabad alkalmazni, és az XF2 és XF4 környezeti osztályú betonok kivételével a (cement + + pernye + szilikapor) mennyiség el kell érje a környezeti osztályok cementadagolásra vonatkozó követelményét. A módosított víz-cement tényező összefüggése ebben az esetben: víz/(cement + 0,4·pernye + 1,0·szilikapor), a pernye/cement ≤ 0,33 és a szilikapor/cement ≤ ≤ 0,11 tömegarány feltétel mellett. A pórus víz kellő lúgos kémhatásának biztosításához CEM I cement esetén teljesülnie kell a pernye/cement ≤ 3·(0,22 – szilikapor/cement), a CEM II-S, CEM II/A-D, CEM II-T, CEM II/A-LL és CEM III/A cement esetén a pernye/cement ≤ 3·(0,15 – szilikapor/cement) feltételnek. Egyéb cementek esetén a pernye és a szilikapor együttes alkalmazása nem megengedett. Ha CEM II/A-D cementet alkalmaznak, akkor a szilikapor/cement tömegarány ≤ 0,10.

A mikroszilikát nem csak por alakban (szilikapor), hanem jobb kezelhetősége érdekében vizes szuszpenzió (mikroszilika szuszpenzió), esetleg sűrítmény (szilikapor sűrítmény, németül: Silicastaub in kompaktierter Form) alakjában is forgalmazzák. A ***vizes mikroszilika szuszpenzió*** szilikapor tartalma 50 tömeg%, adagolása a cement tartalomra vonatkoztatott legfeljebb 22 tömeg%. A szuszpenzió víztartalma a víz-cement tényezőt kedvezőtlenül befolyásolja, ezért a víz-cement tényezőt a szuszpenzió víztartalmával módosítani kell. A ***szilikapor sűrítmény*** halmazsűrűsége 0,50 – 0,65 g/cm^3. A szilikapor sűrítményt különösen mészkőliszt tartalmú keverék esetén a finom homok nélküli adalékanyaggal szárazon elő kell keverni.

A szilikaport a CEM II/A-D fajtájú MSZ EN 197-1:2000 szerinti *portlandcement fő alkotórészeként*, 6-10 tömeg%-ban, a klinkerrel és a kalcium-szulfáttal (gipsszel) együttőrölve alkalmazzák. Feltétel, hogy a szilikapor izzítási vesztesége (MSZ EN 196-2:2005) legfeljebb 4,0 tömeg%, *BET* szerinti fajlagos felülete (ISO 9277:1995) legalább 15 m^2/g legyen. A CEM II/A-D fajtájú cement nyomószilárdsági osztálya 52,5 R, bármely környezeti osztályú ❖ beton készítéséhez használható. (A szilikaport tartalmazó kompozitcementek esetén már nem mindig ilyen kedvező a helyzet.) Adalékszerekkel (például nagy teljesítőképességű folyósítószerekkel) való összeférhetőségét adagolásuk függvényében feltétlenül meg kell vizsgálni. A CEM II/A-D 52,5 R típusú ***szilikapor-portlandcementtel*** készített, megfelelő összetételű és gyártású beton tömörsége, szilárdsága, kopásállósága, fagy- és olvasztósó-állósága, kémiai ellenálló képessége, lágy víz oldóhatásával szembeni ellenállása nagy, zsugorodása csekély.

A mikroszilikánál is finomabb a ***nanoszilika***. Szilícium-dioxid tartalma 100 tömeg%, átlagos szemnagysága mintegy 15 nm (~0,015 μm). *BET* szerinti fajlagos felülete mintegy 180 – 230 m^2/g, tehát a szilikaporénak mintegy tízszerese. A betontechnológiában vizes kolloid oldat alakjában MSZ EN 934-2:2002 szerinti stabilizáló adalékszerként ❖ alkalmazzák, amelynek nanoszilika tartalma mintegy 40 tömeg%, sűrűsége mintegy 1,3 g/cm^3, adagolása a cement tömegére vett 0,2 – 5,0 tömeg%. Fő alkalmazási területe a tartós, nagy szilárdságú, vízzáró, agresszív hatásoknak ellenálló betonok készítése. A nanoszilika tartalmú stabilizáló adalékszert a cement és a víz adagolása előtt az adalékanyaggal mindig össze kell keverni. Az adalékszer dugattyús és centrifugál szivattyúval nem szállítható.



Felhasznált irodalom

MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 196-2:2005	Cementvizsgálati módszerek. 2. rész: A cement kémiai elemzése
MSZ EN 197-1:2000	Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei
MSZ EN 206-1:2002	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ EN 934-2:2002	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Betonadalékszerek. 2. rész: Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés
MSZ EN 13263-1:2005	Szilikapor betonhoz. 1. rész: Fogalommeghatározások, követelmények és megfelelőségi feltételek
MSZ EN 13263-2:2005	Szilikapor betonhoz. 2. rész: Megfelelőségértékelés

ISO 9277:1995	Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption using the BET method
DIN 1045-2:2001	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
DAfStb Heft 561.	Ultrahochfester Beton. Sachstandbericht. Beuth Verlag GmbH., Berlin, Wien, Zürich, 2008
Eichler, W-R.:	Microsilica in der Anwendung aus der sicht eines Baustoffchemikers. Microsilica in der modernen Betontechnologie. Konferencia kiadvány, Konstanz. pp. 71 – 78. Elkem GmbH., Allensbach, 1991.
Kovács-Pálffy Péter – Kónya Péter – Földvári Mária – Kákay Szabó Orsolya – Bodorkós Zsolt:	A Karikás-tető (Prága-hegy, Balaton-felvidék) bazaltjának üregkitöltő ásványai. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2005. pp. 95 – 118.
Zement-Taschenbuch	Verein Deutscher Zementwerke e. V. 51. Ausgabe. Verlag Bau+Technik GmbH., Düsseldorf, 2008.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2009. május havi számának 18-20. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben **Noteszlapok tematikusan**

tartalomjegyzékhez

Vissza a Fogalmak könyvtár tartalomjegyzékéhez

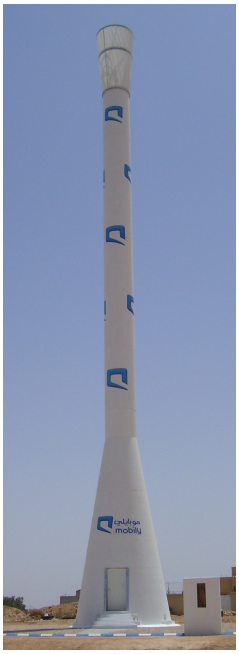
Nagyszilárdságú beton

Németül:	Hochfester Beton (HFB)
Angolul:	High strength concrete (HSC)
Franciául:	Béton à hautes résistances en compression (BHRC)

Bevezetőben emlékeztetünk arra, hogy a visszavont MSZ 4719:1982 szabványban a legnagyobb nyomószilárdsági osztály C55, azaz a vegyesen tárolt Ø150·300 mm méretű próbahengerre vonatkozó legnagyobb előírt jellemző érték 55 N/mm^2, a vegyesen tárolt 150 méretű próbakockára vonatkozó legnagyobb előírt jellemző érték 60 N/mm^2 volt, tehát mondhatjuk, hogy az MSZ 4719:1982 szabvány a nagyszilárdságú betonokat nem tárgyalta.

Az MSZ 4719:1982 szabványt felváltó MSZ EN 206-1:2002 szabvány, illetve MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint nagyszilárdságú a beton, ha C55/67 – C100/115 nyomószilárdsági osztályú közönséges beton, illetve HC55/67 – HC100/115 nehézbeton, vagy LC55/60 – LC80/88 nyomószilárdsági osztályú könnyűbeton. A gyakorlatban nagyszilárdságúnak nevezik a betont, ha a nyomószilárdsága 60 – 130 N/mm^2 között van. (A 150 N/mm^2 nyomószilárdság már az ultra nagy szilárdságú beton ❖ alsó szilárdsági határértéke.)

Hagyománya nem régi, Németországban *R. von Halasz* 1945-ben 60 N/mm^2, *O. Graf* 1954-ben 75 N/mm^2, *K. Walz* 1966-ban 140 N/mm^2 nyomószilárdságú beton készítéséről számol be.



Magyarországon az 1950-es évek elején az *Építéstudományi Intézetben Kunszt György* a tübbing-gyártáshoz végezett autoklávolt, illetve vákuumozott nagyszilárdságú betonokkal kísérleteket, és 100 N/mm^2 nyomószilárdságot ért el. *Balázs György* az 1960-as években kutatta a nagyszilárdságú betonok tulajdonságait, és ért el 80 N/mm^2 nyomószilárdságot (*Balázs*, 2009). Építéshelyi előállítása a naftalin-, majd a melamin-formaldehid-szulfonát bázisú folyósítószerek ❖ és a szilikapor ❖ alkalmazásával az 1970-es években vált lehetővé. Az öt-komponenses rendszer alkotói a cement, víz, adalékanyag, adalékszer és kiegészítőanyag. Napjainkban – az 1990 óta folyó észak-amerikai, francia, norvég, német fejlesztések eredményeként – szilikaporral és szulfonált-vinilkopolimer, ill. polikarboxilat bázisú szuper-folyósítószerekkel ❖ a 0,25 alatti víz-kötőanyag (módosított víz-cement) tényezőjű ❖, képlékeny és folyós konzisztenciájú ❖, nagyszilárdságú betonok 150 N/mm^2 nyomószilárdságig ❖ megfelelő szakértelem mellett hazánkban is biztonsággal előállíthatók (*1. ábra*).

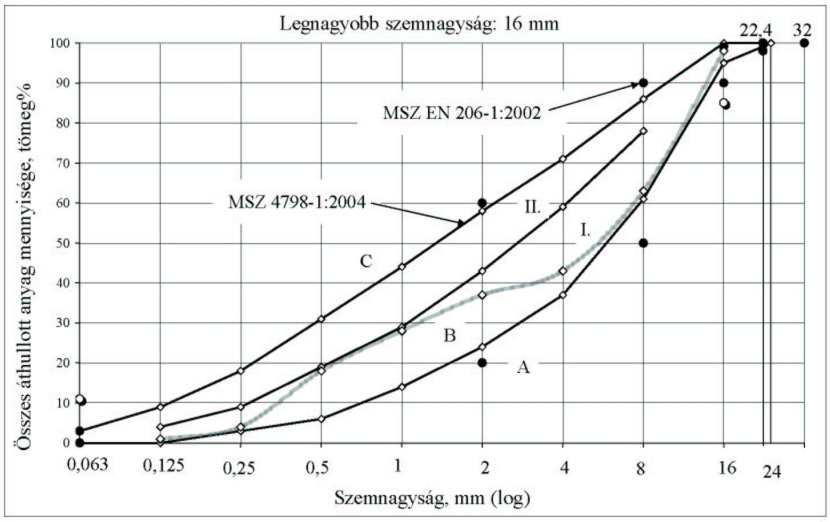
1. ábra: Az *AGM Beton Zrt.* által Rocla technológiával gyártott vasbeton elemekből utólagos feszítéssel összeállított 40 m magas átjátszó torony, amely a *BVM ÉPELEM Előregyártó és Szolgáltató Kft.* legalább $f_{cm,cube}$ = 80 N/mm^2 átlagos nyomószilárdságú betonjából készül a Budapest, XI. Budafoki út 215. szám alatti telepen

Nagyszilárdságú beton előállítására elméletileg minden MSZ EN 197-1 szabvány szerinti CEM I és nagyobb őrlésfinomságú CEM II típusú portlandcement ❖ alkalmas, azok közül is kedvező tulajdonságai folytán 105 N/mm^2 beton nyomószilárdságig leginkább a CEM I 42,5 R jelű portlandcement, 105 N/mm^2 nyomószilárdság felett a CEM I 52,5 R jelű

portlandcement alkalmazása ajánlott. A túl korai kötést szükség esetén kötéskésleltető adalékszerrel lehet megakadályozni. Ha a lassúbb szilárdulási folyamat nem hátrány, akkor kedvező kísérleti eredmények alapján felhasználható a kisebb hőfejlesztésű CEM III/A típusú kohósalakcement ❖ is. A kis trikalcium-aluminát (felit, $3CaO \cdot Al_2O_3$, röviden C_3A) ❖ tartalmú, szulfátálló, úgy nevezett HS-cementek (Zement mit **h**ohem **S**ulfatwiderstand) kis vízigényük, mérsékelt hőfejlesztésük és szilárdulási sebességük, valamint csökkent kémiai zsugorodásuk és kis másodlagos ettringit képződési hajlamuk következtében szintén alkalmasak nagyszilárdságú betonok készítésére. Ilyen például a DIN 1164:2000 szerinti CEM I 42,5 R-HS, CEM I 32,5 N-HS, CEM I 32,5 N-LH/HS jelű szulfátálló portlandcement, amelyek trikalcium-aluminát tartalma ≤ 3 tömeg%, és Al_2O_3 tartalma ≤ 5 tömeg%; vagy az MSZ 4737-1:2002 szerinti CEM I 32,5 R-S jelű szulfátálló portlandcement, amelynek aluminát modulusa ($AM = Al_2O_3/Fe_2O_3$) ≤ 0,40. Egyébként a cement szulfátállóságának feltétele az AM < 0,64 követelmény teljesülése, amely az egykori hazai „S-54 350” jelű szulfátálló portlandcement esetén az MSZ 4702-4:1982 szabványban, vagy a még korábbi MSZ 4702:1956 szabványban (akkor e cement megnevezése „S 54 jelű 500-as portlandcement” volt) megkövetelt AM ≤ 0,70 értékkel szemben biztonságból AM ≤ 0,54 volt (*Révay*, 2008). Lassúbb szilárdulási folyamat esetén az első órákban különös gonddal kell óvni a betont kiszáradástól.

A nagyszilárdságú beton cementtartalma célszerűen legfeljebb 450-500 kg/m^3. Ennél nagyobb cementtartalom esetén fokozottan fennáll a hőfejlődési, kémiai és autogén repedések ❖ keletkezésének veszélye, amikor is – különösen nagyobb külső hőmérséklet vagy nagyobb keresztmetszeti méretek esetén – törekedni kell a cement ❖ hőfejleszténének csökkentésére.

A beton szilárdságának növekedésével növekszik az adalékanyag ❖ mechanikai, geometriai és hidrotechnikai tulajdonságainak jelentősége. A 100 N/mm^2-nél nagyobb átlag szilárdságú (C90/105 és C100/115 nyomószilárdsági osztályú) beton durva adalékanyaga nagyszilárdságú, általában bazalt zúzottkő, de a nagyszilárdságú beton húzószilárdságát ❖ zúzott adalékanyaggal nem lehet növelni. Újrahasznosított adalékanyagot ❖ nem szabad használni. Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága ❖ 8-16 mm közötti legyen, ami a jobb térkitöltés és bedolgozhatóság folytán a nagyszilárdságú beton szilárdságát általában növeli. A szemmegoszlási görbe ❖ a 2 mm-nél finomabb szemek tartományában simuljon a „B” határgörbéhez, a 2 mm-nél durvább szemek tartományában közelítsen az „A” határgörbéhez, és kevés 0,25 mm-nél finomabb szemet tartalmazzon (*2. ábra*). Az adalékanyag szemalakja ❖ zömök legyen, de előnyös, ha a homok éles szemű. Az adalékanyag vízfelvétele csekély legyen.



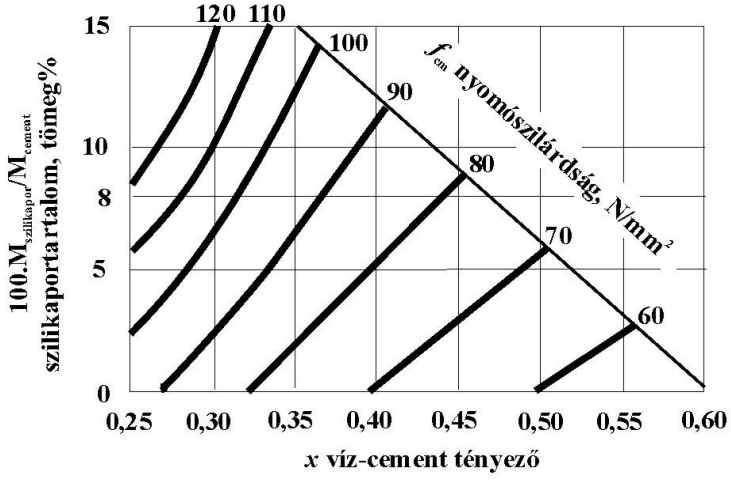
2. ábra: Példa a nagyszilárdságú beton 16 mm legnagyobb szemnagyságú adalék-anyagának szemmegoszlási görbéjére

Az esetleges mészkőliszt adagolással óvatosan kell bánni, például 450 kg/m^3 cementtartalom esetén ne haladja meg az 550 kg/m^3 értéket.

Könnyű adalékanyag alkalmazásával teherhordó nagyszilárdságú könnyű betont (angolul: „high strength light-weight aggregate concrete"; németül: „Hochfeste Leichtbeton") lehet készíteni. Ennek rugalmassági modulusa elsősorban testsűrűségétől és nyomószilárdságától függ, általában 20000-35000 N/mm^2. A testsűrűségtől is befolyásolt hasító-húzószilárdsága mintegy 2-5 N/mm^2.

A keverővíz ❖ feleljen meg az általános betontechnológiai követelményeknek, különös tekintettel a szennyeződésekre és a kloridion-tartalomra. Betongyártásból visszanyert vizet csak kedvező vizsgálati és beton kísérleti eredmények esetén szabad alkalmazni. A keverővíz mennyiségébe be kell számítani az adalékanyag felületi nedvességtartalmát, az adalékszer(ek) és kiegészítő anyag(ok) víztartalmát is, de befolyásolja azt az adalékanyag rövid idejű vízfelvétele és a párolgási veszteség is.

A nagyszilárdságú betonra az *Abrams*-féle víz-cement tényező törvény általánosságban ugyan fennáll, de a hagyományos *Walz*-féle diagram a beton összetételének tervezésére nem alkalmazható (❖ víz-cement tényező), mert a nagyszilárdságú beton nyomószilárdsága – a bedolgozási és tömörítési nehézségek megszűntével – az $x \leq 0{,}5$ víz-cement tényező tartományban a közönséges betonénál sokkal erősebben növekszik, és így $x = 0{,}35$ víz-cement tényező alatt sem esik vissza. A nagyszilárdságú beton víz-kötőanyag tényezője általában 0,27 – 0,37. Várható nyomószilárdságára a *3. ábrán* látható példa.



3. ábra: Példa a nagyszilárdságú beton várható 28 napos nyomószilárdságára ($f_{cm,cube,100}$) a víz-cement tényező (x) és a cementtartalomra vonatkoztatott ($100 \cdot M_{szilikapor}/M_{cement}$) szilikaportartalom függvényében. A diagramot 100 mm méretű próbakocka, homokos kavics adalékanyag és CEM I 42,5 R jelű cement alkalmazásával végzett kísérletek eredményei alapján rajzolták fel. (Forrás: *König* et al., 2001)

Aktív, ún. II. típusú kiegészítő anyagként mikroszilikát (szilikapor ❖ vagy szuszpenzió alakjában), kőszénpernyét, metakaolint, nanoszilokát (szilikapor ❖) szokás, bizonyos esetekben a beton tömörségének növelésére inert, ún. I. típusú kiegészítő anyagként kvarc- vagy mészkőlisztet lehet alkalmazni. A kiegészítő anyagok – fajtától függő – hatása: a cementkő pórusszerkezetének és tömörségének javítása; a puccolános reakció folytán (szilikapor ❖) szilárdsághordozó pótlólagos kalcium-szilikát-hidrátok képződése; a cementkő és az adalékanyag határfelületi kapcsolatának javítása. Az aktív kiegészítő anyagok főbb jellemzőit az *1. táblázat* tartalmazza.

1. táblázat: Aktív kiegészítő anyagok főbb jellemzői

Összetétel, tömeg%	Szilikapor	Nanoszilika	Metakaolin	Kőszénpernye
SiO_2	91 – 97	100	51 – 55	40 – 60
Al_2O_3	1,0 – 1,4	–	40 – 42	23 – 24
Fe_2O_3	0,2 – 1,2	–	0,5 – 4,6	2 – 16
CaO	0,2 – 0,4	–	0,1 – 0,34	0,6 – 8,5
Átlagos szemnagyság, μm	~ 0,1	~ 0,015	1,3	~ 10 – 20
Fajlagos felület, m^2/g	18 – 22	180 – 230	10,0 – 16,8	0,3 – 0,8
Előállítási alak	Por, szuszpenzió	Kolloid oldat, por	Por	Por

A szilikapor ❖ a ferro-szilícium, illetve a fémszilícium gyártás melléktermék, amelynek fő összetevője az üvegszerű, amorf szilícium-dioxid. Fő szerepe a kalcium-szilikát-hidrátok képződésében és a határfelületi fáziskapcsolatok javításában áll. Adagolt mennyisége a cementtartalomnak legfeljebb 10-11 tömeg%-a. A szilikapor hatékonysága 28 napos korra a cementének három-négyszerese, de a szilárdulás első három napjában a beton nyomószilárdságára alig van hatással. Nagyszilárdságú betont C70/85 nyomószilárdsági osztály felett szilikapor nélkül készíteni általában nem lehet.

A nanoszilika mesterségesen előállított, igen finom és nagy tisztaságú kovasav. Puccolános tulajdonsága a szilikaporéhoz hasonló. Alkalmazásával az adalékanyaghalmaz hézagtérfogata tovább csökkenthető.

A metakaolint természetes kaolinból 450-800 ˚C hőmérsékleten, zsugoröntéssel állítják elő. Puccolános aktivitása a szilikaporénak mintegy kétszerese. Átlagos szemnagysága az őrlésfinomságtól függően a szilikapor és a cement szemnagysága (5-30 μm) között helyezkedik el. Hatása a beton nyomószilárdságára és klorid-állóságára jelentős.

A kőszénpernye a széntüzelés melléktermék, amelyet a füstgázból elektrofilterrel szűrnek ki. Kémiai összetétele hasonlít a természetes puccolánok összetételéhez. Hatása fizikai és kémiai. Közönséges betonok készítéséhez is használják, mert általa a hidratációs ❖ hőfejlődés csökkenthető. Adagolt mennyisége a cementtartalomnak legfeljebb 25 tömeg%-a. A pernye szilárdulása lassú, hatása a beton 28 napos nyomószilárdságára kisebb, mint a cementé.

Német tapasztalatok szerint (*König* et al., 2001) előnyös a kőszénpernyét és a szilikaport együtt alkalmazni, már csak a tömörség javítása érdekében is, mert a pernye szemnagysága a szilikapor és a cement szemnagysága közé esik. E két aktív kiegészítő anyag együttes alkalmazása a hidratációs hőfejlődést, és így a repedésképződés veszélyét is csökkenti.

A cement klinker hidrátok mindenekelőtt a kötött kalcium-oxidok és szilícium-dioxidok arányszámában (nevezhetjük mészmodulusnak is) különböznek a puccolános reakció során keletkező kalcium-szilikát-hidrátoktól. Ennek a karbonátosodás veszélye miatt van jelentősége. Cement esetén a CaO/SiO_2 arányszám 0,8-2,0 között fekszik. Ha értéke 0,8 alá esik, akkor a hidrátfázisok instabillá válnak, a kevés szabad kalcium-oxid folytán a beton a karbonátosodás során hamar elveszti a lúgosságát, és megnövekszik az acélbetétek korrodálásának veszélye. A CaO/SiO_2 arányszám szilikapor esetén mintegy 0,9; pernye esetén mintegy 1,5, ami az utóbbi előnyére vall. A szilikapor és a pernye eltérő aktivitása és összetétele figyelembevételével írták fel a cement tömegére vetített százalékos formában a „szilikapor egyenérték" összefüggését, és korlátozták értékét, amely nem lehet nagyobb a cement tömegére vetített 15 tömeg%-nál:

$$Szilikapor\ egyenérték^{tömeg\%} = M_{szilikapor}^{tömeg\%} + \frac{M_{pernye}^{tömeg\%}}{3} \le 15\ \ tömeg\%$$

Mikroszilika és kőszénpernye együttes adagolása során a víz-cement tényező helyett a „víz-kötőanyag tényezőt” (x_{eq}) kell meghatározni értelemszerűen általában a következő összefüggéssel, amelyben M az 1 m^3 betonban lévő összetevők tömegének a jele:

$$x_{eq} = \frac{M_{keverővíz} + M_{mikroszilika\,szuszpenzió\,víztartalma} + M_{adalékszerek\,víztartalma} + M_{adalékanyag\,víztartalma}}{M_{cement} + M_{szilikapor} + 0{,}4 \cdot M_{pernye}}$$

A nagyszilárdulásúgú beton előállítása a kis víz-kötőanyag tényező folytán főképp az utóbbi években kifejlesztett szulfonált-vinilkopolimer bázisú (poliakrilátok) és polikarboxilát bázisú ún. szuper-folyósító adalékszereknek ❖ köszönhető. A szuper-folyósítók a hagyományos folyósítókkal ellentétben nem a bevont cement szemek egymástól való elektrosztatikus taszításával fejtik ki hatásukat, hanem azáltal, hogy a hosszú láncú molekulák mellék láncai a bevont cement szemeket térbelileg távolítva egymástól csökkentik vagy szüntetik meg szemek közötti vonzóerőt (németül: sterischer Effekt). A szuper-folyósító adalékszerek a korábbi hagyományos adalékszereknél sokkal jobban folyósítanak és hatásidejük is hosszabb, ezért szükséges adagolásuk csekély, de az adagolás mértéke a cement fajtának és a víz-kötőanyag tényezőnek is függvénye.

Szálerősítést akkor szokás alkalmazni, ha a nagyszilárdságú beton törési és alakváltozási tulajdonságait javítani kell. Az acélhuzal és a polipropilén szálak együttes alkalmazása előnyös. Az acélszál adagolás felső határa általában 1,00-1,25 térfogat%, a polipropilén szálé mintegy 0,1 térfogat%. A szálerősítésű nagyszilárdságú beton (angolul: „fiber reinforced high strength concrete”; németül: „Hochfeste Faserbeton”) konzisztenciája a szálak bekeverése előtt folyós (F4 – F6 terülési osztályú), illetve a szálak hozzákeverése után 420-550 mm terülési mértékkel képlékeny (F3 – F4 terülési osztályú) legyen. Nyomószilárdsága, rugalmassági modulusa és húzószilárdsága alig különbözik a szálerősítés nélküli nagyszilárdságú betonétól, de a megrepedt szálerősítésű nagyszilárdságú beton szívóssága jelentős, zsugorodása és repedésérzékenysége kisebb, tartóssága általában jobb, mint a szálerősítés nélküli nagyszilárdságú betoné (*König* et al., 2001).

Nagyszilárdságú betonból készülő vasbeton esetén előnyös az új fejlesztésű mélybordás hidegen alakított betonacél (németül: kaltverformter Betonstahl mit Tiefrippung) alkalmazása, mert annak a „bordafelület vetületi egyenértéke” (németül: bezogene Rippenfläche) kisebb, mint 0,04, miáltal a betonacél és a nagyszilárdságú beton kapcsolati feszültsége – amely egyébként a közönséges betonénál merevebb – képlékenyebb lesz, a betonfedésre a betonacélból kisebb húzó igénybevétel adódik át, és csökken a beton hosszrepedésének veszély (*Reinhardt*, 2006).

Nagyszilárdságú beton gyártása során törekedni kell a betonösszetevők adagolásának ±1,0 tömeg%-os pontosságára. A mikroszilika szuszpenziót a száraz cementre juttatva, az adalékszereket utolsónak kell a betonkeverőbe juttatni. A friss beton ragadóssága miatt nagyobb keverési hatásfokra van szükség, mint a közönséges beton esetén. A nagyszilárdságú beton erősen képlékeny – folyós konzisztenciája (terülési mérték 480-650 mm) folytán általában könnyen szivattyúzható és jól bedolgozható, de tömörítési energia igénye 30-50 %-kal több, mint a közönséges betoné. A beton korai kiszáradását – a korai repedések és szövetszerkezeti károsodások keletkezésének, a karbonátosodási sebesség megnövekedésének elkerülése érdekében is – minden eszközzel meg kell akadályozni. A közönséges adalékanyag 4-8 mm szemnagyságú tartománya egy részének előre nedvesített könnyű adalékanyaggal történő cseréjével ún. „belső utókezelés” is elképzelhető. Amíg az $x > 0{,}4$ víz-cement tényezőjű közönséges beton esetén főképp a száradási és karbonátosodási zsugorodások ❖ felléptének van veszélye, addig a nagyszilárdságú beton esetén elsősorban a kapilláris és a kémiai (autogén) zsugorodások ❖ felléptének nőhet meg a mértéke, ill. veszélye.

A nagyszilárdságú beton 1 napos korban elérheti a 28 napos nyomószilárdság 50 %-át is. Rugalmassági modulusa a szilárdság növekedésnél kisebb arányban növekszik, értéke – az

adalékanyag fajtájától, a cement fajtájától és mennyiségétől stb. függően – általában 35000-50000 N/mm^2 között van. Haránt alakváltozási (*Poisson*-féle) tényezője $\nu = \varepsilon_k/\varepsilon_h =$ = 0,16-0,26 között változik. A nagyszilárdságú beton kúszása a közönséges betonénál kisebb, de ha a nyomófeszültség eléri a beton f_{ck} jellemző értékének 40 %-át, akkor a kúszás – valószínűleg ugyanúgy, mint a közönséges betonnál – a nyomófeszültség növekedésénél nagyobb mértékben növekszik (nem lineáris kúszás). Nagyszilárdságú beton esetén is $10 \cdot 10^{-6}$ K^{-1} hőtágulási tényezővel lehet számolni.

A nagyszilárdságú beton a *nagy teljesítőképességű betonok* ❖ (németül: Hochleistungsbeton, angolul: high-performance concrete, franciául: Béton très performant) csoportjába tartozik, így ezt a megnevezését sokszor szinonimaként alkalmazzák.

A nagyszilárdságú (nagy teljesítőképességű) beton tulajdonságai közül a nagy szilárdságon ❖ kívül kiemelkedik a fokozott gáz- és vízzáróság ❖, a jobb kémiai ellenállóképesség ❖ és a fagy- és olvasztósó-állóság ❖. A kapilláris pórusok mennyisége 5 térfogat% alá, a vízbehatolás mértéke ❖ 10 mm alá, a kapilláris vízfelszívás magassága ❖ 35 mm alá, a levegő átbocsátóképesség ❖ $20 \cdot 10^{-17}$ m^2 alá csökkenhet. A nagyszilárdságú beton sav-, szulfát-, és kloridállósága ❖, alkáli szilikát reakciónak (alkálifém-oxid reakció ❖) való ellenállóképessége a közönséges betonénál jobb, karbonátosodási sebessége kisebb. A 0,4 alatti víz-kötőanyag tényezőjű nagyszilárdságú beton fagy- és olvasztósó-állósága általában sokkal jobb, mint a 0,5 körüli víz-kötőanyag tényezőjű légbuborékos közönséges beton fagy- és olvasztósó-állósága.

A nagyszilárdságú beton kopásállósága ❖ a vizsgálati módszertől függő jellemző. Egyedül a *Böhme*-féle módszerrel vizsgálva kisebb a nagyszilárdságú beton kopási ellenállása, mint a közönséges betoné. Ezzel ellentétben a *Brinell*-féle és a *Vickers*-féle keménység, valamint a szöges gumiabroncs koptató hatásának való ellenállás a nagyszilárdságú beton esetén nagyobb, mint a közönséges beton esetén.

Mindezen tulajdonságok folytán a nagyszilárdságú beton előnyösen alkalmazható a magasház-, híd-, víz- és csatornaépítésben.

Felhasznált irodalom

MSZ 4702:1956	Cementek. Portlandcement, kohósalak portlandcement, traszportlandcement. Visszavont szabvány
MSZ 4702-4:1982	Cementek. Portlandcementek, kohósalak-portlandcementek, pernye-portlandcementek és kohósalakcement. Visszavont szabvány.
MSZ 4719:1982	Betonok. Visszavont szabvány
MSZ 4737-1:2002	Különleges cementek. 1. rész: Szulfátálló cementfajták
MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 197-1:2000	Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei. Módosítva MSZ EN 197-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 197-1:2000/A3:2007 jelzet alatt
MSZ EN 206-1:2002	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
DIN 1045-2:2001	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

DIN 1164:2000	Zement mit besonderen Eigenschaften. Zusammensetzung, Anforderungen, Übereinstimmungsnachweis
Balázs György:	Különleges betonok és betontechnológiák II. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2009.
König, G. – Viet Tue, N. – Zink, M.:	Hochleistungsbeton. Bemessung, Herstellung und Anwendung. Ernst & Sohn Verlag GmbH. Berlin, 2001.
Reinhardt, H.-W.:	Zum Gedenken an Otto Graf, universeller Bauforscher in Stuttgart. Universität Stuttgart. Reden und Aufsätze 71. Hrsg. von O. Pertschl, 2006.
Révay Miklós:	Különleges cementek. Fejezet a „Cement-beton Kisokos” c. könyvben. Főszerkesztő: Pluzsik Tamás. Holcim Hungária Zrt., 2008.
Zement-Taschenbuch	Verein Deutscher Zementwerke e. V. 51. Ausgabe. Verlag Bau+Technik GmbH., Düsseldorf, 2008.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2009. szeptember havi, 9. számának 14-17. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

Ultra nagy szilárdságú beton

Németül:	Ultrahochfester Beton (UHFB)
Angolul:	Ultra high strength concrete (UHSC)
Franciául:	Béton à ultra-hautes résistances en compression (BUHRC)

Ultra nagy szilárdságúnak nevezzük a betont, ha tapasztalati jellemző értéke legalább mintegy 10 %-kal nagyobb, mint az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti C100/115 nyomószilárdsági osztályú közönséges beton és nehézbeton, vagy LC80/88 nyomószilárdsági osztályú könnyűbeton nyomószilárdságának előírt jellemző értéke. Átlagos nyomószilárdsága általában legalább 150 N/mm^2, és elérheti a 250, esetleg 300 N/mm^2 értéket. Az ultra nagy szilárdságú beton a nagyszilárdságú beton (C55/67 – C100/115, illetve LC55/60 – LC80/88) továbbfejlesztése, ezért tulajdonságai – amelyeket napjainkban is átfogóan kutatnak – sokban hasonlítanak a nagyszilárdságú beton ❖ tulajdonságaihoz.

Ultra nagy szilárdságú beton története

Ultra nagy, mintegy 200 N/mm^2 nyomószilárdságú betont először több mint 25 évvel ezelőtt a dán *Densit ApS* gyártott, például ipari padlók, repülőtéri pályák, benzinkutak, olaj és gáz szállítóberendezések, legutóbb szélerőművek alapteste stb. építése céljából, *Ducorit*® néven. Az utóbbi 15 évben Franciaországban kifejlesztett szálerősítésű ultra nagy szilárdságú betonnak (UHLFB: Ultrahochleistung Faserbeton) két változata van; az egyik a 0,6 mm legnagyobb szemnagyságú finombeton (a *Lafarge*, *Bouygues* és *Rhodia* cégek közös fejlesztése *Ductal*® néven), a másik a 6-8 mm legnagyobb szemnagyságú beton (az *Eiffage* cég fejlesztése BSI: Béton Spécial Industriel néven). Az utóbbi adalékanyagát nagyszilárdságú, zúzott, égetett bauxit képezi, amelyet CEM I típusú cementtel és szilikaporral összekeverve, *BSI*®/*Ceracem*-Premix néven gyárt és szállít az *Eiffage* és a *Sika* cég.

A híres sherbrooki (Kanada) híd 1989-ben épült, amelyet Franciaországban, Koreában és Japánban több is követett. A sherbrooki gyalogos híd pályalemeze és alsó öve C200 nyomószilárdsági osztályú betonból készült. A 60 m fesztávolságú híd hat előregyártott elemből áll, amelyeket utólag összefeszítettek.

Németországban ultra nagy szilárdságú, szálerősítésű betonból hidakat először 2004-ben Kassel környékén építettek a Kasseli Egyetem fejlesztése alapján (*1. és 2. ábra*). A zúzott kvarchomok legnagyobb szemnagysága 0,5 mm, a cement-tartalom 733 kg/m^3, a szilikapor-tartalom 230 kg/m^3, a víz-cement tényező 0,24, a víz-kötőanyag tényező 0,20, a víz-finomrész tényező 0,19 volt. (Finomrész alatt az összes 0,125 mm-nél finomabb szem értendő.) Az acélszál-tartalom 78 kg/m^3 (1,0 térfogat%), a folyósító adalékszer-tartalom 28,6 kg/m^3 volt. A fóliával letakart friss előregyártott elemeket 5 napon át 70 °C hőmérsékleten hőkezelték. A beton vizsgálata során 650±30 mm terülést, Ø150·300 mm méretű próbahengereken 185 N/mm^2 átlagos nyomószilárdságot, 150·150·700 mm méretű próbahasábokon 18 N/mm^2 átlagos hajlító-húzószilárdságot és 7 N/mm^2 átlagos közvetlen húzószilárdságot mértek.

1. ábra: Gyalogos és kerékpáros híd a Nieste folyó felett, Kasselben, ultra nagy szilárdságú előregyártott feszített vasbetonelemből. Fesztávolság: 12 m, lemezvastagság: 10 cm, szegélymagasság: 40 cm. A 12 tonnás elemet autódaruval emelték a helyére.
Forrás: *Schmidt, M. – Fehling, E.*, 2006

2. ábra: A Fulda folyó felett átívelő, 140 m hosszú Gärtner téri híd Kasselben, ultra nagy szilárdságú, szálerősítésű betonból készített, keresztirányban előfeszített, 5 m széles és 8,5 cm vastag pályalemezzel, és a pályalemezt alátámasztó, hosszirányban utófeszített övvel.
Forrás: *Schmidt, M. – Fehling, E.*, 2006

Az ausztriai Kärntner megyében, Völkermarkt községben 2008. júniusában kezdtek hozzá a világ leghosszabb, 157 m hosszú, részben ultra nagy szilárdságú betonból készülő, 14 m széles közúti hídjának építéséhez (*3. ábra*). A híd átadásának tervezett időpontja 2009 ősze. A C165/185 nyomószilárdsági osztályú, szálerősítésű, ultra nagy szilárdságú betonból a 70 m hosszú, 6 cm falvastagságú szekrénytartó-ívek készültek. (*Freytag, B. – Sparowitz, L.*, 2008)

3. ábra: Az ausztriai Völkermarktban, a Mühlgraben (Malomárok) felett, részben szálerősítésű ultra nagy szilárdságú betonból épült közúti híd
Forrás: http://www.arching.at

További példákat a *4. és 5. ábrán* mutatunk be.

4. ábra: Az 1998-ban, Ductal® típusú ultra nagy szilárdságú finombetonból épült Peace-gyalogoshíd Szöulban. Fesztávolsága 120 m, magassága 15 m, pályalemeze 4,3 m széles és 3 cm vastag, keresztszelvénye 1,1 m magas.
Forrás:
http://87.230.81.56/imagineductal/home.php

5. ábra: Klinker siló ultra nagy szilárdságú betonból készült tetőpanele. USA, Illinois szövetségi állam, Joppa. Épült 2001-ben. Forrás: http://www.michigan.gov

Tömörség, tartósság, zsugorodás, repedés

Az ultra nagy szilárdságú betont a nagy szilárdság mellett a rendkívül tömör szövetszerkezet jellemzi. Mind összes porozitása, mind kapilláris porozitása (0,1 μm feletti átmérővel) nagyon csekély. Ezáltal a transzport folyamatok a közönséges és a nagyszilárdságú betonhoz képest nagyon lassúak, és a repedés nélküli ultra nagy szilárdságú beton nagyon tartós. Tartósságára utaló módon megnevezésére szinonimaként az „ultra nagy teljesítőképességű beton” (angolul: „Ultra High Performance Concrete”, röviden: UHPC) kifejezést is használják.

A karbonátosodás előrehaladása egy év alatt kisebb, mint 0,1 mm, ezért – szemben a nagy szilárdságú betonokkal – az ultra nagy szilárdságú betonok esetén mérlegelhető az egyébként előírt betonfedések csökkentése. Káros anyag és a víz csak a kapillárisokon keresztül képes említésre méltó mértékben a beton belsejébe hatolni, ezért az ultra nagy szilárdságú beton az erős kémiai hatásoknak is ellenáll, és légbuborékok nélkül is igen fagy- és olvasztósó-álló. Az ultra nagy szilárdságú beton alkáli reakciójára (alkálifém-oxid – szilikát reakciójára) utaló jeleket eddig nem tapasztaltak.

A fiatal ultra nagy szilárdságú beton a kémiai átalakulás folytán zsugorodhat vagy duzzadhat, a hidratációs hő távozása és a kiszáradás következtében zsugorodhat ❖. Ezeket összefoglaló néven külső hatások nélküli, ún. autógén alakváltozásoknak hívják (*Fontana, P.* 2007). A kiszáradás (önkiszáradás) részben a hidratáció során lekötött víz felhasználásának, részben a pórusok relatív nedvesség-tartalma csökkenésének következménye. A vízhiány belső kiszáradáshoz vezet, amelyet külső térfogat csökkenés kísér. A teljesen vagy részben kiszáradt pórusokban olyan nagy nyomáscsökkenés lép fel, hogy a cementkő összehúzódik. A száradási zsugorodás csökkenő víz-cement tényező mellett rendszerint növekszik. A száradási zsugorodást a víz alatt tárolt és vízzel telített fiatal cementkő duzzadása csökkentheti. Miközben a fiatal beton felület-közeli kiszáradását megfelelő utókezeléssel általában meg lehet akadályozni, addig a fiatal ultra nagy szilárdságú beton zsugorodására a nagy cement-tartalom és a kis víz-cement tényező folytán a kémiai átalakulás és a hidratációs hő távozása a mértékadó. Az ultra nagy szilárdságú beton esetén jelentős a kiszáradás nélkül zajló kémiai (autogén) zsugorodás {lásd hidratáció ❖}, amely például 0,13 víz-kötőanyag

tényező esetén a beton 28 napos korában a 0,2 mm/m értéket is megközelítheti. Hasonló jelentősége van hidratációs hőfejlődésnek, amelynek hatására 350 – 400 kg/m^3 cement-tartalom esetén a kezdetben 20 °C hőmérsékletű friss beton a megengedett felső korlátnak tekinthető 70 °C hőmérsékletre is felmelegedhet. A beton hűlése közben a keresztmetszeti hőmérséklet-gradiens sajátfeszültségeket ébreszt, amelyek felület közeli repedéseket hozhatnak létre. A hidratációs felmelegedés kis víz-kötőanyag tényezővel, illetve kis hőfejlesztésű cement alkalmazásával csökkenthető.

Ha a zsugorodást valami akadályozza (például az adalékanyag, a zsaluzat, az illeszkedő építőelem stb.), akkor a fiatal betonban gátolt alakváltozásból eredő feszültségek ébrednek, amelyek repedéseket okozhatnak. A gátolt alakváltozásból eredő feszültségek a fiatal ultra nagy szilárdságú beton nagy ernyedési képessége következtében az első napokban csökkennek, majd növekszenek, és a beton esetleg megreped. Végérvényesen még nem tisztázták, hogy a repedésképződés az ultra nagy szilárdságú beton tartósságát csökkenti-e. Ha a nagyon vékony repedéseken keresztül víz hatol az ultra nagy szilárdságú beton szövetszerkezetébe, akkor kedvező esetben az utólagos hidratáció folytán a *repedések öngyógyulása* következik be. Kedvezőtlen feltételek mellett különböző károsodási folyamatok léphetnek fel, mint esetleg a másodlagos ettringit képződés vagy az alkáli szilikát reakció. Mind a két reakció betonkárosító duzzadási nyomásokat ébreszthet, és ezzel a beton tartósságát csökkentheti.

Az ultra nagy szilárdságú beton nagy tömörsége a tűzállóság szempontjából kedvezőtlen, mert a szabad és fizikailag kötött vízből képződő gőz távozása nehezebb, mint a kevésbé tömör közönséges vagy a nagyszilárdságú betonból. Nagy vízgőznyomás alakul ki, ami robbanásszerű lepattogzásokhoz vezet.

Az ultra nagy szilárdságú beton alapanyaga az adalékanyag, a kőliszt, a cement, a szilikapor, a folyósító adalékszer és a víz, esetleg a pernye, metakaolin, finom kohósalak őrlemény és az erősítő szál.

Adalékanyag

Ultra nagy szilárdságú betont finom vagy durva legnagyobb szemnagyságú adalékanyaggal lehet készíteni. A beton rendkívül kis ekvivalens víz-cement tényezőjére (víz-kötőanyag tényezőjére) és nagyon nagy nyomószilárdságára tekintettel az adalékanyag legfontosabb tulajdonsága a szemmegoszlás, a szemalak, a mechanikai, ásványtani tulajdonságok, az adalékanyag és cement közötti kémiai-fizikai kölcsönhatás, a kis keverési vízigény. Az adalékanyag szemmegoszlását úgy kell megtervezni, hogy a keverék tömörsége a lehető legnagyobb legyen. Az adalékanyag egyébként általában elégítse ki az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szabvány követelményét, Magyarországon az MSZ 4798-1:2004 szabvány figyelembevételével.

Bár korábban nem volt szokás, durva adalékanyaggal is lehet 150 N/mm^2-t messze meghaladó nyomószilárdságokat elérni. A *durva adalékanyaggal* készült ultra nagy szilárdságú beton adalékanyagának legnagyobb szemnagysága > 1 mm, általában 8 vagy 16 mm. Megnevezése német nyelvterületen „grobkörniger UHFB”. Tapasztalatok szerint a durva adalékanyagú ultra nagy szilárdságú beton esetén is tömörek a fázishatárok, és hátrányos mikro-repedéseket nem tartalmaz. A szemalak zömök legyen. Míg az adalékanyag rugalmassági modulusának és a cementkő rugalmassági modulusának hányadosa közönséges és nagyszilárdságú beton esetén mintegy 3, addig ultra nagy szilárdságú beton esetén ne legyen több, mint 1,0-1,4.

Az eredetileg *finom adalékanyaggal* készült ultra nagy szilárdságú betont angolul „Reactive Powder Concrete”-nak (röviden: RPC), franciául „Béton de Poudres Réactives”-nek (röviden: BPR) nevezik, német megnevezése „feinkörniger UHFB” vagy „Reaktionspulverbeton”. Adalékanyagának legnagyobb szemnagysága ≤ 1 mm, általában legfeljebb 0,5 mm, és ennek ellenére „beton”-nak tartják.

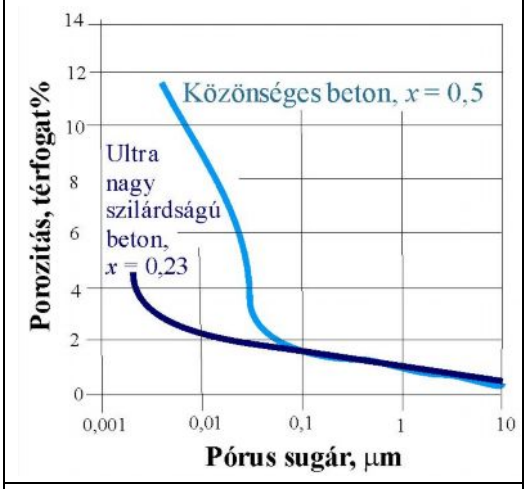
A *finom adalékanyagú* ultra nagy szilárdságú beton finom szemeinek (< 0,125 mm) mennyisége általában több mint 1000 kg/m^3 (kb. 350 – 400 liter/m^3). A finom szem-tartalmat úgy kell összeállítani, hogy a finom beton tömörsége a lehető legnagyobb, porozitása a lehető legkisebb legyen. Ennek hátterében az áll, hogy a finom szemek (szemnagysága > 1 μm, *Blaine*-féle fajlagos felülete mintegy 3600 cm^2/g) hézagait kitöltő még finomabb szemek (szemnagysága < 1 μm, *Blaine*-féle fajlagos felülete mintegy 18000 cm^2/g) mennyiségét növelve egy adott részarányig a szemhalmaz tömörsége növekszik, majd e részarány fölött csökken, miközben a habarcs viszkozitása eleinte csökken (jobban folyik), majd növekszik (kevésbé folyik). Ismert, hogy zömök alakú (ideális esetben gömb alakú) szemek esetén a legjobb térkitöltést a *Fuller*-parabola ❖ adja. Az optimumot megkeresve a finom szemhalmaz hézagainak kitöltéséhez – a szemek felületét nedvesítő vízrétegtől elvonatkoztatva – kevés víz is elegendő. A szemalakra, illetve a kis keverési vízigényre való tekintettel az ultra nagy szilárdságú *finom* beton adalékanyaga általában kedvező szemalakú homok, bár újabban homok és zúzottkő, például bazalt őrleménnyel is készítettek ultra nagy szilárdságú betont.

Az 1 μm alatti finom szemek célirányos adagolásával azonban általában nem csak az 1 μm feletti finom szemek hézagtérfogata és ezáltal vízigénye csökken, hanem a finom szem keverék belső fajlagos felülete is megnövekszik. Ha az 1 μm feletti finom szemekhez a szükségesnél több 1 μm alatti finom szemet adunk, vagy a finom szem igen finom és belső fajlagos felülete igen nagy – mint például a szilikapor ❖ esetén –, akkor esetleg több vízre van szükség a szemek felületének nedvesítéséhez és az igen finom szemek hézagtérfogat növekményének kitöltéséhez, mint amennyi a teherhordó szemcseváz szerkezetéhez tartozna, és a kelleténél több igen finom szem miatt is romlik a szemek közötti teherátadás. Ezért az 1 μm alatti igen finom szemek mennyiségét és a vízigényt korlátozni kell.

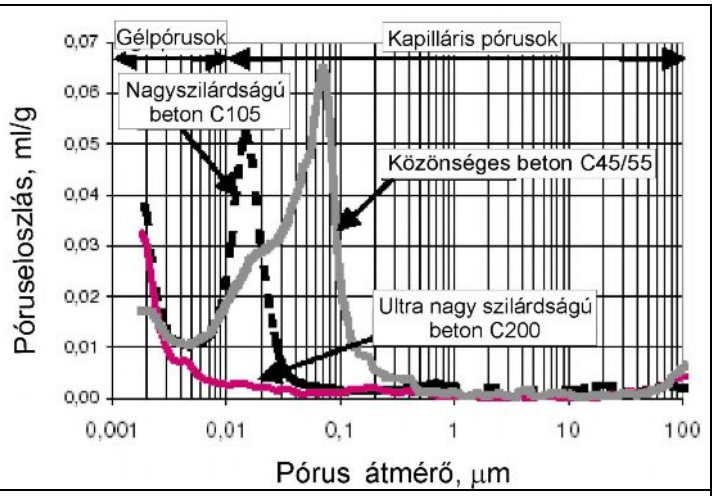
Cement

Az ultra nagy szilárdságú beton cement-tartalma általában 600 – 1000 kg/m^3, tehát a nagyon kis víz-kötőanyag tényező (nevezik módosított víz-cement tényezőnek, ekvivalens víz-cement tényezőnek, víz-cement tényező egyenértéknek is) miatt sokkal több, mint a közönséges (normál) vagy a nagyszilárdságú betoné. Ha az ultra nagy szilárdságú beton nagyon tömör, akkor 500 kg/m^3-nél kisebb cement-tartalommal is elkészíthető.

A cementkő szükséges tömörségére követelmény érték nem ismert, de az irodalomban találhatók higanypenetrációval (higany-poroziméterrel) felvett diagramok, amelyek a különböző szilárdságú betonok cementköve porozitásának különbségét mutatják be (*6. – 7. ábra*). Ezek szerint az ábrák szerint a 0,1, illetve a 0,01 μm-nél kisebb pórusok tartományában jelentkezik a nagy porozitás különbség. Kutatóktól függ, hogy a 0,1 μm pórusnagyságot a makro-gélpórusok és a mikro-kapilláris pórusok határának, vagy a mikro-kapillárisok tartományába eső értéknek tekintik.



6. ábra: A közönséges és az ultra nagy szilárdságú beton cementköve porozitásának összehasonlítása. Forrás: VDZ: Zement-Taschenbuch. Verlag Bau+Technik 2008



7. ábra: A közönséges, a nagyszilárdságú és az ultra nagy szilárdságú beton cementköve póruseloszlásának összehasonlítása. Forrás: *Schmidt, M. – Fehling, E.*, 2006

Kísérletek szerint előnyös, ha az ultra nagy szilárdságú beton trikalcium-aluminát (C_3A) szegény vagy mentes (szulfátálló), nem túl finomra őrölt portlandcementtel készül {lásd nagyszilárdságú beton ◄}. A nagyon finomra őrölt cement nagy vízigénye kedvezőtlen, ezért a 3000 – 4500 cm^2/g fajlagos felületű cement alkalmazását ajánlják. A cement átlagos nyomószilárdsága 54 – 64 N/mm^2 közé essék, azaz 42,5 vagy 52,5 nyomószilárdsági osztályú legyen. Általában CEM I típusú cementet alkalmaznak, de például Németországban CEM III/B 42,5 NW/HS jelű kis hőfejlesztésű, szulfátálló kohósalakcementtel, 12 tömeg% szilikapor-tartalom és x = 0,2 víz-cement tényező mellett, 20 °C hőmérsékleten tárolt beton próbatesteken, 28 napos korban 160 N/mm^2 beton nyomószilárdságot értek el (*Schmidt* et al., 2008).

Kiegészítőanyag

A nagy vagy ultra nagy szilárdságú beton szükséges tömörségét legkönnyebben II. típusú (rejtett hidraulikus tulajdonságú) kiegészítőanyag (szilikapor, metakaolin stb., lásd nagyszilárdságú beton és szilikapor ❖) adagolásával lehet elérni.

A szilikapor aktivitása folytán a cementkő részének tekintendő. Adagolása a cement-tartalomra vetített 10 – 25 tömeg% között mozog, bár a beton lúgosságát csökkenti, ezért 11 tömeg%-nál nagyobb adagolása nem ajánlott.

Az amorf metakaolin a cement hidratációja során keletkező kalcium-hidroxiddal (portlandittal) másodlagos kalcium-szilikát-hidrát fázist képez, miáltal a beton nyomószilárdsága csak kevéssé tér el a szilikapor-tartalmú ultra nagy szilárdságú beton szilárdságától.

A pernye bár rejtett hidraulikus tulajdonságú, II. típusú kiegészítőanyag, az ultra nagy szilárdságú betonban inkább csak a mészkőlisztéhez hasonlóan töltőanyag szerepét tölti be.

A kőliszt inert, I. típusú kiegészítőanyag, amely a cementtel nem lép reakcióba, ezért általában töltőanyagként alkalmazzák. A kőliszt a hőkezelt ultra nagy szilárdságú betonban azonban a töltőanyag hatás mellett mégis hozzájárul a szilárdsághoz, mert kristályosodási csíra szerepét is betölti, leghatékonyabban akkor, ha szemnagysága 5 – 25 μm közé esik. Például a (kvarcliszt + szilikapor)/cement arány mintegy 0,62 legyen. Kvarcliszt adagolással kedvező tömörség esetén a nyomószilárdság akár 20 %-kal is megnőhet az ekvivalens víz-cement tényező csökkentése nélkül. Más megfogalmazásban, azonos nyomószilárdság és

ekvivalens víz-cement tényező mellett a kvarcliszt adagolással a cementnek mintegy 20 %-a megtakarítható.

Víz, víz-cement tényező

Az ultra nagy szilárdságú beton a kis *víz-cement tényező* ❖ ellenére jól folyósítható, szétosztályozódási és kivérzési hajlama csekély.

A beton nagy szilárdsága és tömörsége nagyrészt a csekély *víz-kötőanyag tényezőnek* (ekvivalens víz-cement tényezőnek) ❖ köszönhető. A nagy teljesítőképességű, nagy vagy ultra nagy szilárdságú betonok általában 0,25-0,30 alatti, sokszor 0,2 körüli víz-kötőanyag tényezővel készülnek, és így ha csak utólag nem vesznek fel vizet, akkor teljes mértékben nem tudnak hidratálódni. A teljes hidratációhoz – ha minden feltétel rendelkezésre áll – akár 10-100 évre is szükség van.

A víz-kötőanyag tényező optimumát a megszilárdult beton kizsaluzáskori testsűrűsége (ρ_0) és a szemhalmaz anyagsűrűsége (ρ_s) hányadosa ($k_{rel} = \rho_0/\ \rho_s$) függvényében keresik. Kísérleti eredmények szerint a k_{rel} hányados akkor éri el a legnagyobb értéket ($k_{rel,\ max} = 0{,}87$), ha a víz-kötőanyag tényező értéke 0,13 – 0,15 közé esik, mert ekkor a legkisebb beton levegőtartalma. Újabb kutatások rámutatnak, hogy egyéb tényezők hatása folytán nagyobb víz-kötőanyag tényező mellett is lehet ultra nagy szilárdságú betont készíteni (*Schmidt* et al., 2008).

Az ultra nagy szilárdságú beton tömörségére nagy hatással van a finomanyag keverék hézagtérfogata, amelynek megítélésére bevezették a *víz-finomrész tényezőt*. A víz-finomrész tényező a víz és a 0,125 mm alatti szemek (cement és az összes egyéb 125 μm alatti finom szem) térfogatának $V_{víz}/V_{finomrész}$ vagy tömegének $M_{víz}/M_{finomrész}$ hányadosa. A legtömörebb térkitöltéshez tartozó optimális szemmegoszlást és finom szem-tartalmat számítással vagy kísérlettel lehet meghatározni, de a számítási módszerek csak közelítő eredményre vezetnek, mert ma még a valós eredményre vezető numerikus és anyagtani modellek (pl. a szemalak, a felületi érdesség stb. leírása) hiányoznak. A kísérletek hézagtérfogat és viszkozitás mérésből állnak. Például azonos víz-cement tényező, nagy szilikapor adagolás, kis tömörség és $V_{víz}/V_{finomrész} = 0{,}51$ hányados mellett 500 mm terülést és 155 N/mm^2 nyomószilárdságot, kisebb szilikapor adagolás, nagyobb tömörség és $V_{víz}/V_{finomrész} = 0{,}44$ hányados mellett 650 mm terülést és 195 N/mm^2 nyomószilárdságot mértek.

Adalékszer, folyósítószer

A klasszikus betontechnológiát ❖ felváltó korszak kezdetén, amely a hatékony képlékenyítő és folyósító adalékszerek ❖ megjelenésének időszaka, a beton folyósítószerek jórészt lignin-szulfonát (LS), naftalin-formaldehid-szulfonát (SNF vagy NFS) vagy melamin-formaldehid-szulfonát (MFS vagy SMF) bázison készültek. Ezek hatása arra épült, hogy a még alig vagy kissé hidratálódott klinkerásványok, illetve első hidratációs termékek – különösen az ettringit – felületén adszorbeálódnak (lekötődnek), miáltal a klinkerásványok, illetve hidratációs termékek felületén elektrosztatikus taszítás jön létre, ami a friss beton folyós állapotának lényeges feltétele, és lehetővé teszi a víz-cement tényező csökkentését. E „kezdeti generációs” folyósítószerek vízcsökkentő hatása és hatásideje az ultra nagy szilárdságú betonok készítéséhez nem elegendő, erre a célra az ún. „új generációs” folyósító adalékszerek, mint a szulfonált-vinilkopolimer (poliakrilát, PA) bázisú és a polikarboxilát (PC), illetve továbbfejlesztett változata, a polikarboxilát-éter (PCE) bázisú szuper-folyósítószerek alkalmasak.

A szuper-folyósítószerekre, különösen a polikarboxilát-éter bázisú folyósítószerekre az jellemző, hogy alkalmazásukkal – szemben a „kezdeti generációs” folyósítószerekkel – a klinkerásványok közötti elektrosztatikus taszítóhatás némiképp háttérbe szorul, és elsődleges szerephez a molekulák közötti térbeli taszítás vagy távolságtartás (németül: sterischer Effekt, sterische Abstoßung, sterische Hinderung) jut. Általuk a vízmegtakarítás és a hatásidő megnő,

a cementpép igen kis víz-cement tényező mellett is tömörré válik, a csökkent adszorpció folytán – amely főképp a trikalcium-aluminátra összpontosul – a hidratáció zavartalanabb.

Szálerősítés

A szerkezet építésben az ultra nagy szilárdságú beton nagy szilárdságának kihasználásához nagy vashányad vagy előfeszítés alkalmazása szükséges. Gyakran acélszálakat vagy nagyszilárdságú műanyagszálakat (például poli-vinil-alkohol szálakat, PVA) kevernek a betonba, miáltal akár az 50 N/mm^2 hajlító-húzószilárdságot is el lehet érni. Ha vasalás nélkül, csak acélszálak kerülnek a betonba, akkor általában nagy száladagolásra van szükség. Finomszemű ultra nagy szilárdságú beton esetén az ajánlott acélszál adagolás 2,5 – 3,5 térfogat%, a szálhosszúság 8 – 16 mm, az átmérő 0,1 – 0,2 mm, a szálhosszúság és az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának hányadosa 10 legyen. Az acélszál nem csak a teherbírás, illetve a szívósság szempontjából hasznos, hanem csökkenti a repedésképződést és a repedéstágasságot is. A korai zsugorodás mérséklése és a tűzállóság szempontjából kedvező a poli-propilén szál, amelyet 0,3 – 0,6 térfogat% mennyiségben adagolnak az ultra nagy szilárdságú betonba. Előnyös a vegyes száladagolás, így a különböző hosszúságú acélszálak, illetve az acél- és például a poli-akril-nitril szálak együttes alkalmazása. A száladagolás a konzisztenciát és a szétosztályozódási (ülepedési) hajlamot a víz-kötőanyag tényező függvényében befolyásolja, a bedolgozhatóságot megnehezíti.

Ultra nagy szilárdságú beton készítése

Az ultra nagy szilárdságú betonból készített szerkezeti elemek – így az ultra nagy szilárdságú betonból épített hidak túlnyomó többsége is – külföldön eddig leggyakrabban előregyártással készültek. A kis keresztmetszeti méretek különlegesen karcsú szerkezeteket eredményeznek. A nyomott elemek keresztmetszete is csökkenthető, illetve terhelése növelhető.

Az ultra nagy szilárdságú beton készítésére jelenleg még nincs előírás. A 150 N/mm^2 feletti ultra nagy szilárdságú beton készítésének módjával az irodalom részletesen foglalkozik (*Schmidt, M.* et al., 2008). A nagyszilárdságú betonok ❖ betontechnológiai intézkedéseinek következetes alkalmazása – a víz-cement tényező csökkentése, a szilikapor alkalmazása, a mikro tartományban a tömörség fokozása – lehetővé teszi a nyomószilárdság növelését mintegy 200 N/mm^2-ig.

Az ultra nagy szilárdságú beton összetételére példa az *1. táblázatban* látható.

1. táblázat: Példa az ultra nagy szilárdságú beton összetételére

Összetevők	Finomszemű	Durvaszemű
	ultra nagy szilárdságú beton összetétele, kg/m^3	
CEM I 52,5 szulfátálló portlandcement	800	580
Víz	170	150
Kvarchomok, legnagyobb szemnagyság 0,5 mm	1020	355
2/8 mm szemnagyságú bazalt zúzottkő	–	710
0,09 mm alatti kvarcliszt	220	130
Szilikapor	135	175
Acélszál	–	195
Folyósító adalékszer	25	30

Az ultra nagy szilárdságú beton készítésekor mindenekelőtt a száraz összetevőket kell megkeverni, majd ezután kell a folyékony összetevőket a keverődobba juttatni. Ügyelni kell a csomósodás nélküli keverésre. Ha a beton szálerősítésű, akkor a szálakat – a tökéletes elkeveredés érdekében – a folyósítószer hatásának megjelenése után kell a keverékhez adni, és alaposan bekeverni. Előnyös lehet, ha a betont két ütemben keverik meg, először 6 m/s, majd a második ütemben 1,4 m/s keverési sebességgel. A keverési folyamatba 1-2 perc

pihentetési idő is beiktatható. A teljes szükséges keverési idő 10-15 perc. Az erőteljes keverés hatására a keverék nagyon felmelegedhet, ez rontja a bedolgozhatóságot és lerövidíti a bedolgozási időt, ami ellen az összetevők hűtésével lehet védekezni.

A *vákuumban való keveréssel* csökkenthető a friss beton levegő-tartalma, ugyanakkor a vibrálással történő utólagos levegő eltávolítás az ultra nagy szilárdságú beton gyakran ragadós konzisztenciája miatt kevésbé hatásos. A vákuum akkora legyen, hogy 30 ºC keverési hőmérséklet mellett a víz jelentősen még ne párologjon.

Az ultra nagy szilárdságú beton szivattyúzható. Szabad eséssel nem szabad a zsaluzatba juttatni.

A zsaluzat tömör és tömített kell legyen, és ellen kell álljon a nagy folyadék nyomásnak.

Ha a friss ultra nagy szilárdságú beton ragadós, tapadós konzisztenciájú, akkor a tömörítéshez az átlagosnál több energia szükséges. A kis levegő-tartalmú, öntömörödő konzisztenciájú betont alig kell tömöríteni. Ha a levegő-tartalom kihajtása a cél, akkor az kis frekvencián és kis amplitúdóval történjék. Ez utóbbi esetben a tömörítési idő általában hosszabb, mint a közönséges beton esetén. Előregyártó üzemben az ultra nagy szilárdságú betont külső vibrátorral, újabban tűvibrátorral is szokás tömöríteni. Helyszíni betonozás során a tömörítés a szokásos eszközökkel történhet.

A friss helyszíni ultra nagy szilárdságú beton felületének megmunkálása a friss beton ragadóssága miatt körülményesebb, utókezelése nagyobb körültekintést igényel, mint az előregyártott betoné. A sima felület kialakításához sokszor nem elegendő az egyszerű lehúzás, de bevált a kis frekvencián járatott könnyű vibropalló megfelelő időbeni alkalmazása: ha a friss beton még nem kötött eléggé meg, akkor a felület felszakad. Ha viszont a beton utókezelése nem megfelelő és a beton már megdermedt, akkor a felület már alig munkálható meg.

Ha a szabad felületet nem védjük meg a kiszáradástól és a napsugárzástól, akkor a felület a kis víz-tartalom és a nagy finomrész-tartalom folytán egyenetlen, ún. „elefántbőrös” lesz és korai, képlékeny vagy kapilláris zsugorodás is felléphet. Célravezető utókezelés a felület azonnali légmentes betakarása vagy állandó nedvesen tartása. Különösen előnyös, ha a fóliatakarás felhelyezése előtt a felületre utókezelőszert hordunk fel, mert ezáltal nemcsak az „elefántbőr” képződése, hanem a korai zsugorodásból származó felületi repedések keletkezése is megelőzhető.

Hőérleléssel vagy nyomás alatti szilárdítással a természetes érlelésnél nagyobb szilárdságokat lehet elérni.

A *hőérlelés* legszokásosabb módja szerint a betont egy-két napos pihentetés után 48 órán át, kiszáradásmentesen 70-90 ºC hőmérsékletű levegőn tárolják, és így a cement hidratáció sebességét felgyorsítva a beton akár el is érheti a végszilárdságát. A 60 ºC hőmérséklet feletti korai hőkezelés hatására a cement trikalcium-aluminát ásványa és a kötés-szabályozó kalciumszulfát (gipszkő) nem ettringitté (triszulfáttá) és monoszulfáttá {lásd cement hidratációja ❖}, hanem a kalcium-szilikát-hidrát kevésbé stabil változatává alakul, és a szabadon maradt szulfát később nedvesség jelenlétében káros, repesztő-hatású másodlagos ettringitet képezhet. Tapasztalatok szerint trikalcium-aluminát szegény cementtel készülő, igen tömör ultra nagy szilárdságú beton esetén ez a veszély nem áll fenn, ha a friss betont hőkezelés előtt egy napig környezeti hőmérsékleten pihentetik.

A 90 ºC feletti hőmérsékleten való szilárdítással és a *nyomás alatti szilárdítással* eddig csak kevés tapasztalat van. (*Schmidt, M.* et al., 2008)

Felhasznált irodalom

MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 206-1:2002	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
MSZ EN 12620:2002+A1:2008	Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz
DIN 1045-2:2001	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
Fontana, P.:	Einfluss der Mischungszusammensetzung auf die frühen autogenen Verformungen der Bindemittelmatrix von Hochleistungsbetonen. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb, Heft 570. Beuth Verlag GmbH., Berlin, 2007
Freytag, B. – Sparowitz, L.:	WILD-Brücke – UHPC in der Praxis als Ergebnis der Forschung. Forschung & Entwicklung für Zement und Beton. Kolloquium 2008. Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie. Kurzfassungen der Beiträge
Schmidt, M. – Fehling, E.:	Grundlagen der Betontechnologie von Hoch- und Ultrahochleistungsbeton und Anwendung von UHPC im Brückenbau. Der Tagungsband Seminar der Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Hessen e. V. am 05.04.2006. pp. 1-11.
Schmidt, M. et al.:	Ultrahochfester Beton. Sachstandbericht. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb, Heft 561. Beuth Verlag GmbH., Berlin, 2008
Zement-Taschenbuch	Verein Deutscher Zementwerke e. V. 51. Ausgabe. Verlag Bau+Technik GmbH., Düsseldorf, 2008.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2009. október havi számának 12-14. oldalán (1. rész) és a 2009. november-december havi számának 14-17. oldalán (2. rész)

Vissza a

Noteszlapok abc-ben ***Noteszlapok tematikusan***

tartalomjegyzékhez

Vissza a *Fogalmak* könyvtár tartalomjegyzékéhez

Fagyálló beton, fagy- és olvasztósó-álló beton
Fagyállóság és vizsgálat

Németül:	Frostbeständiger Beton Beton mit Frost- und Tausalz-Widerstand
Angolul:	Concrete for frost resistance Concrete for frost and de-icing salt resistance
Franciául:	Béton résistant au gel Béton résistant au gel et aux sels de déverglaçage

Bevezetés

A beton fagykárosodása általában szövetszerkezeti roncsolódás, illetve – főképp olvasztósó vagy más olvasztószer használata esetén – felületi mállás formájában jelentkezik. Mértéke a betont tekintve elsősorban annak porozitásától, víztartalmától és korától, a külső körülményeket tekintve a fagyhullámok gyakoriságától függ. Az eső után gyorsan kiszáradó magasépítési betonok fagyveszélye kisebb, mint a nehezen kiszáradó alapbetonoké és útpályabetonoké. Az utóbbiak fagyállóságát általában csak légbuborékképző adalékszer alkalmazásával lehet biztosítani. Ugyanez áll fenn a repülőtéri betonburkolatok esetén is, annak ellenére, hogy azok téli jégmentesítését a sónál kevésbé agresszív kloridmentes olvasztószerrel végzik.

A fagykárosodás elkerülésére a következő intézkedések tehetők:

- Elő kell segíteni a csapadékvíz betonfelületről való távozását. Vízszintes felületek esetén a víztelenítést már 2 % oldalesés is jelentősen előmozdítja. A vízorr úgy alakítandó ki, hogy a betonalakzat alsó felületén ne legyenek vízfolyások.
- A beton fagyállóságát – szemben például a nyomószilárdsággal – a sok ismeretlen folytán számszerűsíteni gyakorlatilag nem, csak becsülni lehet. Ezért egyrészt a betont a szabványokban szereplő környezeti osztályok [*Kausay*, 2009] feltételeinek megfelelő összetétellel (víz-cement tényező, cementtartalom), tömörséggel (levegőtartalom) és nyomószilárdsággal kell készíteni, másrészt a beton fagyállóságáról sokszor hosszadalmas kísérletekkel kell meggyőződni.
- Gondoskodni kell arról, hogy a betont egy hónapos kora előtt ne érje fagyhatás, illetve az első fagy a fiatal betont kiszáradt állapotban érje. A tavasszal vagy nyáron készített beton a fagy és a jégolvasztósó károsító hatásának sokkal jobban ellenáll, mint a késő ősszel vagy télen készített beton. Ha a beton legalább egy hétig 20 °C hőmérsékleten szilárdul, akkor általában eléri a 28 napos szilárdság 80 %-át.
- A fiatal beton nyomószilárdsága az első fagy idején legalább 5 N/mm^2 és száraz állapotú legyen. Ha a fiatal beton külső hatásra nedves, mert például a kémiai zsugorodáskor részben kiszáradt kapilláris pórusok ❖ az őszi esőzések alkalmával utólag esővizet szívnak fel, és fagyhatás éri, akkor nagy valószínűséggel károsodni fog.
- Ha fagypont körüli hőmérsékleten kell betonozni, akkor a betonkeveréket általában +15 °C hőmérsékletre (a szabványok szerint legalább +10 °C hőmérsékletre) kell melegíteni. Az ilyen fiatal betont például szorosan illeszkedő fóliatakarással védeni kell a gyors kiszáradástól, a fóliáról lecsepegő kondenzvíztől, és nem szabad vízzel utókezelni. A fóliatakarás alá célszerű hőszigetelő réteget fektetni.
- A betont a lehető legkisebb víz-cement tényezővel és minél kevesebb akaratunk ellenére bevitt (bennmaradt) levegőtartalommal (légpórustartalommal) kell elkészíteni.

- Fagy- és olvasztósó-álló mélyépítési betonkeverékhez feltétlenül légbuborékképző adalékszert ❖ kell használni, de a légbuborékképző adalékszer a magasépítési betonok fagy- és olvasztósó-állóságát is javítja.
- A 4 mm feletti adalékanyag szemek fagyállóak legyenek.
- Az adalékanyag, főképp a homok és a kőliszt agyag-iszaptartalmát és vízigényét alacsony szinten kell tartani. A 4 mm alatti adalékanyag mennyisége kevesebb legyen annál, mint amennyi ahhoz kell, hogy a betömörített beton felületén számottevő habarcsréteg keletkezzen. [*Springenschmid*, 2007]

Fagykárosodás folyamata

Ha a beton nem fagyálló, akkor fagyhatásra hajszálrepedések keletkeznek, amelyek vízzel megtelnek. Az újabb fagyok ezeket a repedéseket tágítják, aminek hatására a beton szövetszerkezete egyre inkább roncsolódik (*1. ábra*). A tönkremenetel oka szerteágazó, leegyszerűsítve négy fő okkal szokás a fagykárosodást magyarázni:

1. A fagyás során már az első jégkristály csírák vizet szívnak a környező kisebb pórusokból, és e helyeken a betonban mikro-jéglencsék képződnek.
2. Minthogy a jéggé fagyó víz térfogata 9 százalékkal növekszik, ha a beton pórusai térfogatának több mint 90 százaléka vízzel telt, akkor fagy esetén betonduzzadást okozó és hajszálrepedéseket ébresztő pórusvíznyomás lép fel. A beton duzzadása 50 fagyasztási ciklus hatására a 0,4 mm/m értéket is megközelítheti. A megfagyott beton rugalmassági modulusa felengedett állapotban az eredetinél kisebb.
3. A pórusvíz csak néhány fokkal 0,0 °C hőmérséklet alatt fagy meg a vízben oldott sók és a jégkristály csíra képződés szükségessé folytán. A pórusvíz fagyáspontja a pórusméret csökkenésével, a pórusnyomás ezzel járó növekedésével csökken. Jelentősebb lehűlés esetén a vízzel telített betonréteg hirtelen átfagy, miközben ΔT hőmérsékletnövekedés mellett duzzad; a jégnyomás gyors növekedése a szövetszerkezetet húzásra veszi igénybe, mígnem az megreped.
4. A légbuborékos beton fagyállóságát eddig mindenekelőtt azzal magyarázták, hogy a sok kis levegővel telt buborék a megfagyó víz nyomását felveszi. Újabb kutatások szerint ennél nagyobb jelentősége van annak, hogy az első jégkristály csírák víz elszívását a légbuborékok megtörik. [*Springenschmid*, 2007]

1. ábra: Fagykárosodott vasalt beton hídkorlát

Olvasztósó hatása

Az utak jég- és hómentesítését általában nátrium-kloriddal (*2. ábra*), némely esetben kálcium-kloriddal (nagyon alacsony hőmérséklet esetén), magnézium-kloriddal (átlagosnál jobban óvott helyszíneken) végzik. Repülőtéri betonpályák téli csúszásgátlását karbamiddal, alkohollal, kálium- és nátrium-acetáttal, valamint szerves anyagok keverékével oldják meg. Ezek az anyagok valamennyien hasonló módon károsítják a betont elsősorban fizikailag, de bizonyos mértékben kémiailag is. Alkalmazásuk fő hátránya, hogy fokozott nedvszívóképességük ((higroszkóposságuk) és oldataik alacsony felületi feszültsége folytán a beton víztelítettsége megnő.

Tapasztalatok szerint először a beton olvasztósóval át nem itatott mélyebb rétege és az a felszíni rétege fagy meg, amelynek hőmérséklete nagyon alacsony, de a fagypont megfelelő leszállításához szükséges sótartalma kevés. Ha további lehűlés esetén a közbenső réteg megfagy, akkor az a felső réteget ledobja. Ez magyarázatát adja annak, hogy miért nagyobb a fagykár, ha az olvasztósó koncentráció csak 1-3 %, és miért kisebb már néhány év múlva, amikor az olvasztósó-oldat már mélyebben beszivárog.

A vasbetonba beszivárgó klorid az acélbetétet megtámadja, az korrodál és megrepeszti a betont, és a korrózió akár acélbetét szakadáshoz is vezethet.

Megjegyezzük, hogy a só a növényvilágra is károsan hat és a vizeket is szennyezi, ezért külföldön számos helyen, de például természetvédelmi területeken hazánkban is tiltják az alkalmazását (*3. ábra*).

2. ábra:
Zsákolt olvasztósó

3. ábra:
Olvasztósózás alól kivont erdei út

Fagy- és olvasztósó-álló betonok és összetevőik tulajdonságai

A fagy hatásának vagy a fagy és olvasztósó hatásának kitett betonoknak ki kell elégíteniük az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szerinti környezeti osztályok ❖ követelményét, és általában ki kell állniuk a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatot is.

Ha a beton nincs olvasztósó hatásának kitéve és felülete függőleges (XF1 környezeti osztály), akkor az érdekelt felek megegyezése esetén a fagyállóságot szabad közvetett módon, a betonösszetétel határértékeivel előírni.

A beton fagyállósága jelentős mértékben függ a környezeti körülményektől (pl. a kritikus víztelitettség esélyétől), a beton összetevőinek tulajdonságától, a beton víz-cement tényezőjétől és struktúrájától, beleértve a légbuborékképző adalékszerrel bevitt légbuborékok méretét és eloszlását is.

A fagyálló beton készítésének feltétele a környezeti osztályok követelményén kívül a fagyálló adalékanyag, a megfelelő cement és légbuborékképző adalékszer alkalmazása, a hosszas utókezelés, a betonozás és a tél bekövetkezte közötti hosszú idő.

A fagyállóság szempontjából technológiailag előnyös a vákuum kezelés vagy a zsaluzati víztelenítő réteg (németül: Schalungsbahn) alkalmazása, amelyek esetén a beton felületén a víz-cement tényező lecsökken, a felületi réteg tömör lesz, és kevésbé karbonátosodik. [*Springenschmid*, 2007]

Adalékanyag megfelelősége

Az MSZ EN 12620:2006 betonadalékanyag szabvány szerint a durva (2 mm feletti) adalékanyagok ❖ fagy- és olvasztósó-állóságát közvetlen fagyállóság vizsgálattal és közvetett módon, szulfátos kristályosítási vizsgálattal lehet meghatározni. A szabvány F melléklete a kőzettani és a vízfelvétel vizsgálatot ún. elővizsgálatnak nevezi, amelyek kimutathatják a kőanyag fagyérzékenységét, és az elővizsgálatok követelményét kielégítő kőanyagokat fagyállónak tekinti. A fagyállónak tekintett kőanyagra nézve számszerű követelmény, hogy az MSZ EN 1097-6:2001 szerint meghatározott vízfelvétele nem haladhatja meg az 1 tömeg%-ot.

A homokos kavics adalékanyag fagyállóságát hazánkban nem szokás vizsgálni, bár lehet, hogy ezt a gyakorlatot a jövőben felül kell vizsgálni.

Az MSZ EN 12620:2006 szabvány a durva (2 mm feletti) adalékanyagokra közvetlen fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyállóság és fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot írja elő. Ezt a vizsgálatot a DIN 1045-2:2008 szabvány (amely a DIN EN 206-1:2007 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) az XF1 és XF3 környezeti osztályú betonok adalékanyagára írja elő.

A MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyállóság vizsgálat elve, hogy az adott szemnagyságú adalékanyag légköri nyomáson vízzel telített vizsgálati adagjait lezárt fedelű dobozban, desztillált vízzel borítva, 10 fagyás-olvadás ciklusnak kell kitenni. (Az előírt 10 ciklus a hazai mérsékeltövi kontinentális éghajlati körülmények között nem elegendő.) A ciklus 4 órán át tartó (-17,5 ± 2,5) °C hőmérsékleten való, víz alatt történő fagyasztásból, utána (20 ± 3) °C hőmérsékletű vízfürdőben való felolvasztásból, és köztük felmelegítési és lehűtési szakaszokból áll. A vizsgálat ciklus ideje 24 óra. A hűtőszekrényt a hűtött felület közepén álló lezárt doboz közepének hőmérséklete segítségével kell szabályozni. A váltakozó fagyasztás-olvasztás befejezése után a kőanyaghalmaz változásait (repedésképződés, aprózódás, adott esetben szilárdságváltozás) meg kell vizsgálni. Veszteségnek az alsó szemnagysághatár felező szitáján áthullott vizsgálati anyagot kell tekinteni. A fagyállósági osztályok aprózódási veszteségre vonatkozó határértékei 1, 2 és 4 tömeg%.

Ha az adalékanyagból olvasztósó hatásának kitett szerkezet készül, akkor az MSZ EN 12620:2006 szabvány ajánlását követve indokolt a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot az MSZ EN 1367-1:2007 szabvány B mellékletében jelzett, 1 %-os nátrium-klorid oldat vagy telített karbamid oldat alkalmazásával elvégezni. Ennek eredményére nincsenek követelmény értékek, illetve osztályok előírva, a vízben történő fagyasztáshoz tartozó követelmények és osztályok nem érvényesek. Az 1 %-os nátrium-klorid oldat és 10 ciklus alkalmazásával végzendő fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat részletes leírását MSZ EN 1367-6:2009 szabványtervezet tartalmazza (lásd még DIN EN 1367-6:2008). Megjegyezzük, hogy *a legnagyobb fagykárosodást nem az 1 %-os, hanem a 3 %-os nátrium-klorid oldat okozza,* ahogy azt a betonok vizsgálata során alkalmazzák is, *a 10 fagyasztási ciklus pedig hazai időjárási viszonyaink közepette kevés.*

Az MSZ EN 12620:2006 szabvány a durva (2 mm feletti) betonadalékanyagokra közvetett fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-2:1999 szerinti magnéziumszulfát oldatos kristályosítási vizsgálatot írja elő. Ezt a vizsgálatot a DIN 1045-2:2008 szabvány szerint az XF2 és XF4 környezeti osztályú betonok adalékanyaga esetén kell elvégezni..

Az MSZ EN 1367-2:1999 szerinti magnéziumszulfát oldatos kristályosítási vizsgálat 2 óra (20 ± 5) °C-on történő csepegtetésből, 23-25 óra (110 ± 5) °C-on való szárításból, 5 óra (20 ± 5) °C-on történő hűtésből, 17 óra (20 ± 2) °C-on való áztatásból áll. A ciklusidő (48 ± 2) óra, a ciklusok száma 5, a vizsgálat tehát 10 napig tart. A referencia vizsgálat szemnagysága 10 – 14 mm, és emiatt a referencia vizsgálat terméken általában nem alkalmazható. A termékek kristályosítási vizsgálatát *alternatív vizsgálattal* lehet végezni. Az alternatív magnézium szulfátos kristályosítási aprózódást a zúzottkő és zúzottkavics

termékek névleges felső méret (*D*) feletti és névleges alsó méret (*d*) alatti szemeinek eltávolítása után maradó vizsgálati mintán kell meghatározni az MSZ EN 1367-2:1999 szabvány szerint, annak B melléklete szellemében, mint azt az MSZ 4798-1:2004 szabvány előírja, a hazai termékfrakciók szemnagyságához igazítva.

A magnézium-szulfátos kristályosítási veszteség megengedett értékei a különböző osztályokban az MSZ EN 12620:2006 szabvány szerint rendre 18, 25 és 35 tömeg%, ez a követelmény nagyon laza. *Magyarországon* a betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkövek és zúzottkavicsok esetén – beleértve a betonútépítéshez használtakat is (ÚT 2-3.601-2:2008) – az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 5.2. táblázat szerinti szigorúbb követelmény értékek (legfeljebb 5, 10, 15 tömeg% stb.) érvényesek, amelyek teljesülését – a vevő ellenőrzési jogát nem sértve – *alternatív vizsgálattal*, tehát a mindenkori termékből előállított vizsgálati mintán kell meghatározni.

Cement megfelelősége

A MSZ 4798-1:2004 szabvány a fagyálló betonokhoz alkalmazható cementekre nem ad követelményt, de közli az EN 206-1:2000 szabvány svéd nemzeti alkalmazási dokumentumának (SS 137003:2002) ajánlását a CEM I és CEM II fajtájú cementek alkalmazására. (Az ajánlás a CEM III cementekre nem terjed ki.) A svéd ajánlás szerint fagyálló betonok készítéséhez legalább 42,5 szilárdsági osztályú cementet kell használni. A CEM I fajtájú „tiszta” portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók a fagyálló betonok kötőanyagául. A CEM II fajtájú „heterogén” portlandcementeket tekintve, a svédek az XF1, XF2, XF3 fagyállósági környezeti osztályban bármely CEM II/A jelű portlandcement (kiegészítő anyag tartalom 6-20 tömeg%), az XF4 fagyállósági környezeti osztályban csak a savanyú pernye kiegészítő anyagos CEM II/A-V és a legfeljebb 0,5 tömeg% szerves-szén tartalmú, mészkőliszt kiegészítő anyagos CEM II/A-LL jelű cement alkalmazásával értenek egyet.

A DIN 1045-2:2008 szabvány az összes németországi cementfajtára részletes ajánlási/tiltási jegyzéket ad meg. A német szabvány F.3.1. táblázata szerint a CEM I fajtájú „tiszta” portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók a fagyálló betonok készítéséhez. A CEM II fajtájú „heterogén” portlandcementek németországi alkalmazhatósága árnyaltabb. A CEM II/A-S és a CEM II/B-S jelű kohósalak-portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók. A CEM II/A-V jelű pernye-portlandcementet az XF1 és XF3 környezeti osztályban, a CEM II/B-V jelű pernye-portlandcementet (kiegészítő anyag tartalom 21-35 tömeg%) csak az XF1 környezeti osztályban szabad alkalmazni. A CEM II/A-LL mészkő-portlandcement felhasználását valamennyi környezeti osztályban megengedik. A CEM II/A-M és a CEM II/B-M kompozit-portlandcementek alkalmazhatóságát a kiegészítő anyag kombinációktól teszik függővé. Úgy rendelkeznek, hogy a CEM II/A-M (S-LL) jelű (kohósalak + mészkőliszt) kompozit-portlandcement valamennyi fagyállósági környezeti osztályban, a CEM II/A M (V-LL) jelű (pernye + mészkőliszt) kompozit-portlandcement az XF1 és XF3 környezeti osztályban szabad felhasználni. Az ugyanilyen összetételű, de nagyobb kiegészítő tartalmú CEM II/B-M (S-LL) és CEM II/A M (V-LL) jelű kompozit-cementek felhasználását tiltják. A CEM III/A és a CEM III/B jelű kohósalakcementek alkalmazása Németországban az XF1, XF2, XF3 környezeti osztályban megengedett, az XF4 környezeti osztályban a CEM III/A fajtájú kohósalakcement használható akkor, ha a szilárdsági osztálya legalább 42,5, vagy ha legalább 32,5 R (nagy kezdőszilárdságú) és a kohósalaktartalma legfeljebb 50 tömeg%.

Német megállapítás, hogy növekvő kohósalaktartalom mellett csökken a légbuborékok hatékonysága, és fagyhatás esetén a légbuborékos beton hámlási vesztesége egyre jobban megközelíti a légbuborékképző adalékszer nélkül készült beton hámlási veszteségét (*Lohaus*, 2007). Légbuborékos beton esetén az XF4 környezeti osztályban CEM III/A 42,5 jelű kohósalakcementet szabad használni, de a betont a szokásosnál hosszabb ideig kell utókezelni.

Az osztrákok az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázatában a CEM I és a CEM II/A fajtájú, nálunk is gyártott portlandcementek valamennyi fagyállósági környezeti osztályban való alkalmazását engedélyezik. Ugyancsak alkalmazható valamennyi környezeti osztályban a CEM II/B-S jelű kohósalak-portlandcement. A CEM II/B-V jelű pernye-portlandcementet feltétel nélkül csak az XF1 és az XF3 környezeti osztályban szabad felhasználni, az XF2 és XF4 környezeti osztályban pedig felhasználását a légbuboréktartalomra vonatkozó osztrák előírások teljesülésének igazolásához kötik. A CEM III/A fajfájú kohósalakcement használatát feltétel nélkül csak az XF1 és az XF3 környezeti osztályban engedik meg. A CEM III/A fajfájú kohósalakcement használata az XF2 és XF4 környezeti osztályban, valamint a CEM III/B fajfájú kohósalakcement használata valamennyi környezeti osztályban szintén a légbuboréktartalomra vonatkozó osztrák előírások teljesülésének igazolása esetén megengedett.

A svéd, német és osztrák ajánlásokat is figyelembe véve a hazánkban gyártott cementek közül fagy- és olvasztósó-álló betonok készítésére az XF1 és az XF2 környezeti osztályban a CEM I és a CEM II/A-S fajtájú, legalább 42,5 szilárdsági osztályú portlandcement, illetve kohósalak-portlandcement, az XF3 és az XF4 környezeti osztályban a CEM I fajtájú, legalább 42,5 szilárdsági osztályú portlandcement ajánlható.

Légbuborékképző adalékszer megfelelősége

A légbuborékképző adalékszerek ❖ a beton fagy- és olvasztósó-állóságát növelik, ezért alkalmazásuk az XF2 – XF4 környezeti osztályokban ajánlott (az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint kötelező), pályabetonok építése során előírt. Alkalmazásuk elsősorban útpályaszerkezetek esetén elengedhetetlen, magas- és mélyépítési betonok fagyállósága légbuborékképzőszer nélkül is megoldható [XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztály]. Az XF3 és XF4 környezeti osztályú légbuborékképző adalékszer nélküli fagyálló betonokra a DIN 1045-2:2008 alternatívát ad.

Különleges hatásuk abban áll, hogy a betonban igen nagyszámú, kisméretű (átmérőjük kisebb, mint 0,3 mm) légbuborékot hoznak létre. A friss betonba légbuborékképzőszerrel bevitt légbuborékok a megszilárdult betonban is megmaradnak. A beton megfagyásakor a kapillárisokból kiszorított víz egy részét felveszik, és a képződő jégkristály-nyomást levezetik. A kapillárisokban megfagyó víz kitágulásának teret adnak, a kapillárisok megszakításával csökkentik a vízfelszívást, ezáltal a beton jégkristály-nyomás okozta szétrepedezésének veszélye lecsökken. Hasonló jelenség játszódik le a kikristályosodó olvasztósó kristály-nyomásának semlegesítésekor is.

Az adalékszerek légbuborékképző hatása hatékonyságuktól és adagolásuktól, a cement fajtájától, a beton összetételétől, konzisztenciájától (víztartalmától), hőmérsékletétől, keverési módjától függ. A légbuborékok mennyisége a betonban általában *növekszik*, ha például a légbuborékképző adalékszer adagolása nő, a 0,25/0,5 mm-es finom homok tartalom nő, a homok szemlakja szögletes, a cementtartalom kisebb, a légbuborékképzőszert a keverővízben feloldják, a betonba kötésgyorsítószert is adagolnak, a keverési idő mintegy 1,5 perc, a konzisztencia képlékeny (de nem önthető) a földnedves helyett stb., és általában *csökken*, ha például a 0,125 mm alatti szemek mennyisége nő, finomabb őrlésű a cement, a cement pernye- vagy kohósalaktartalma nő, a betonba késleltetőszert is adagolnak, az optimálisnál hosszabb a keverési idő, hosszú a szállítási vagy a bedolgozási idő, a nyári melegben stb. (*Erdélyi*, 1983)

A betonban képzett légbuborékok általában csökkentik a beton szilárdságát, kivéve, ha a képlékenyítő hatást a víz-cement tényező csökkentésére használjuk. Ez azonban általában csak viszonylag csekély levegőtartalom vagy sováynbetonok esetén lehetséges. A légbuborékképzőszer túladagolása a beton nyomószilárdságának jelentős csökkenését okozza. A légbuborékos beton kúszása mindig nagyobb, mint a légbuborékképzőszer nélkülié.

A légbuborékképző adalékszerek valamelyest képlékenyítenek és csökkentik a vízigényt is. Légbuborékképzőszer és képlékenyítő- vagy folyósítószer együttes alkalmazása során hatásvizsgálattal meg kell győződni arról, hogy a légbuborékképzés a képlékenyítő- vagy folyósítószerben lévő habzásgátló ellenére szavatolható, továbbá az adalékszerek és a cement összeférhetők.

Szivattyús szállításkor a légbuborékos friss betonban lévő jelentős mennyiségű levegő összenyomódása folytán a betonszivattyú hatékony működése, a légbuborékos beton szivattyúzhatósága a szállítási távolságtól függő mértékben romlik.

A beton kémiai hatásokkal szembeni ellenállását légbuborékképzőszerrel nem lehet növelni.

Ha az érdekelt felek a bedolgozott friss betonon mért vagy számított levegőtartalom kimutatásával nem elégszenek meg, vagy megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálat elhagyásában, vagy egyéb szempontok szólnak mellette, akkor a beton megfelelőségének igazolásához a megszilárdult beton próbatestből (vagy ritkán a kész szerkezetből vett magmintákból, ugyanis az értékeléshez ismerni kell a beton pontos összetételét is) kimunkált és megcsiszolt próbatesteken kell a légbuborékok távolsági tényezőjét ❖ és mennyiségét az MSZ EN 480-11:2006 szerinti sztereomikroszkópos vizsgálattal meghatározni.

Légbuborékképzős fagyálló beton esetén – a szilárd betonban, az MSZ EN 480-11:2006 szabvány szerint meghatározva – a távolsági tényező legfeljebb 0,22 mm, a bevitt, 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű hatékony légbuborékok (mikrolégbuborékok, jele: L300) mennyisége (jele: A_{300}) legalább 1,0 térfogat% (az XF2 és XF3 környezeti osztályban), illetve legalább 1,8 térfogat% (az XF4 környezeti osztályban) legyen.

Az MSZ EN 934-2:2009 adalékszer szabvány azt a légbuborékképző adalékszert tekinti megfelelőnek, amelynek hatására a légbuborékképzős friss beton levegőtartalma legalább 2,5 térfogat%-kal nagyobb, mint a légbuborékképző nélküli beton levegőtartalma, és a friss beton teljes levegőtartalma 4-6 térfogat%. Követelmény továbbá, hogy a légbuborékképzőszer a megszilárdult betonban – az MSZ EN 480-11:2006 szabvány szerint meghatározva – legfeljebb 0,20 mm távolsági tényezőt hozzon létre. Az MSZ EN 934-2:2009 szabvány szerint 28 napos korban a légbuborékképző adalékszerrel készült beton nyomószilárdságának el kell érnie a légbuborékképző adalékszer nélkül készített ellenőrző beton nyomószilárdságának 75 %-át.

Minthogy az XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztályú betonok légbuborékképző adalékszer nélkül készülnek, ezek fagy- és olvasztósó-állóságát az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszát, vagy esetleg más, megállapodás szerinti szabványt (például ÖNORM B 3303:2002) követő vizsgálatokkal igazolni kell. Az XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztályban a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóság, illetve fagyállóság vizsgálata nem hagyható el.

Mikroléggyöngy („előregyártott légbuborék”) alkalmazása

Ha a légbuborékképzős beton előállítása nehézségekbe ütközik (például száraz eljárású lövellt beton esetén), akkor a beton fagyállóságát szilárdság csökkenés nélkül mikroléggyöngy (németül: Mikrohohlkugel, rövidítve: MHK) adagolásával lehet javítani. A mikroléggyöngy héja vékony műanyagfilm, szemnagysága 0,01-0,06 mm, adagolása 0,7-0,8 térfogat%. A rendkívül könnyű gyöngyszemeket nehéz bekeverni, amit megkönnyítendő vizes pép alakjában műanyagzacskóban forgalmazzák. Adagoláskor figyelembe kell venni, hogy hosszabb keverési idő alatt a gyöngyszemek egy része sérülhet, kipukkadhat. Hátránya, hogy beszerzési költsége jelenleg még magas. [*Springenschmid*, 2007]

Szilikapor alkalmazása

A szilikapor ❖ kémiailag kevesebb, fizikailag több vizet köt meg, aminek következtében a beton víztartalma és fagyérzékenysége megnő.

A beton fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, ill. fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton belső szerkezeti sérülését („A" eset), vagy a beton felületi hámlását („B" eset) vizsgálja. Az „A" eset az MSZ EN 12371:2002 szabványt követi, a „B" eset hasonló az MSZ EN 1338:2003 szabvány D mellékletében leírt eljáráshoz.

A fagyállóságot, ill. a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány és a BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint a következőképpen kell vizsgálni és értékelni, amelyhez megjegyzést is fűzünk:

- Az XF1 és az XF3 környezeti osztály esetén, ahol csak fagyhatás éri a betont, – ha a fagyállóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagyállóságot együtt a „referencia" betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A"* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. *Véleményünk szerint* a betonösszetétel határértékeivel történő előírás csak az XF1 környezeti osztályban engedhető meg;
- Úgy véljük, hogy az XF3 környezeti osztályban a fagyállóság vizsgálatot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*A*" esete szerint el kell végezni, ha a légbuborék szerkezetet (légbuborék eloszlás és távolsági tényező) nem határozzák meg;
- Az XF2 és az XF4 környezeti osztály esetén, ahol fagy- és olvasztósó-hatás éri a betont, – ha a fagy- és olvasztósó-állóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B"* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. Ha megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat elhagyásában, és a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor a szilárd beton légbuborék eloszlását és távolsági tényezőjét kell meghatározni az MSZ EN 480-11:2006 szerint. *Véleményünk szerint* az XF2 és XF4 környezeti osztályban nem elegendő a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetve a betonösszetétel határértékeivel előírni, hanem el kell végezni az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B"* esete szerinti vizsgálatot, amely az XF2 környezeti osztály esetén elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák. Az XF4 környezeti osztályban ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is;
- Az XF2(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B"* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni;
- Az XF3(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagyállóságot együtt a „referencia" betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A"* esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagyállóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni.

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje tehát javaslatunk szerint az *1. táblázat* szerinti legyen. Az *1. táblázatban* javasolt vizsgálati rend érvényre juttatásához az MSZ 4798-1:2004 szabvány átdolgozása lenne szükséges.

A beton fagy- és olvasztósó-állóságának követelménye az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszában található. A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálathoz 100 m^3 beton-térfogatonként, vizsgálatonként legalább 1 db, de tételenként legalább 3 db próbatestet kell készíteni. A fagyállóság vizsgálathoz szükséges referencia próbatestek darabszáma ugyanennyi kell, hogy legyen.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A" esete* szerint, ha a beton fagynak ki van téve, de olvasztósó hatása nem éri (azaz környezeti osztálya XF3), akkor a megszilárdult

beton fagyállóságát legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken, légtérben történő fagyasztással és víz alatti olvasztással kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány módszerét alkalmazva (*2. táblázat*). Ezt az eljárást váltotta fel a „belső szerkezeti fagykárosodásokat" vizsgáló európai eljárás, amelyet európai műszaki jelentés (MSZ CEN/TR 15177:2009) formájában tettek közzé.

1. táblázat: A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje (javaslat)

Környezeti osztály	**Olvasztósó hatás éri a betont**	**A beton felülete**	**Vizsgálati rend**
XF1	Nem	Függőleges	Megengedhető a betonösszetétel határértékeivel történő előírás
XF2 ($XF2_{LP}$)	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B"* esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF3 ($XF3_{LP}$)	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A"* esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF4 ($XF4_{LP}$)	Igen	Vízszintes	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B"* esete szerint és ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is
XF2(BV-MI), ill. XF2(H)	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B"* esete szerint
XF3(BV-MI), ill. XF3(H)	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A"* esete szerint

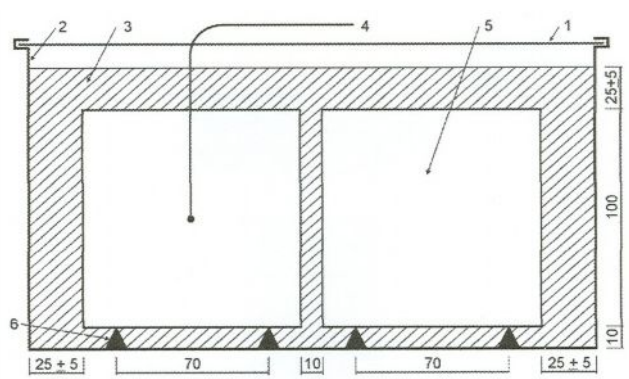
Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B" esete* szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagynak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, és öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3 százalékos, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken kell, ún. „hámlasztásos" (vagy „felületi mállási") eljárással vizsgálni. A peremes hámlasztásos vizsgálatot a jövőben a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet felváltó, a CEN/TS 12390-9:2006 európai műszaki előírás honosításával bevezetett MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban szereplő referencia módszer alkalmazásával kell végezni. A peremes hámlasztásos vizsgálat hazai tapasztalatok szerint túlzottan erős hatása folytán elsősorban összehasonlító jelleggel alkalmazható.

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007, MSZ EN 12371:2002 és MSZ EN 1338:2003 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatok jellemzőit a *2. táblázatban* hasonlítjuk össze.

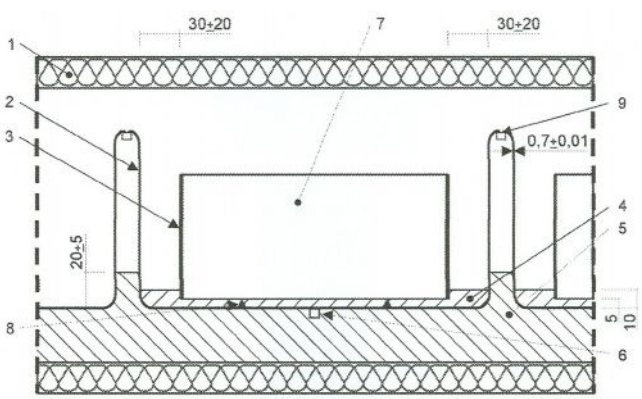
Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban egy referencia (*peremes hámlasztás*) és két alternatív (*bemerítéses leválási és kapilláris felszívásos hámlasztási*) fagyasztási vizsgálati módszer található. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók. A *kapilláris felszívásos alternatív vizsgálat* során a próbatesteket egyirányú kapillárisfelszívásnak teszik ki, és ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak*

(**C**apillary suction of water and **F**reeze thaw test), ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* (**C**apillary suction of **D**eicing solution and **F**reeze thaw test) nevezik. (A kapilláris felszívásos alternatív CDF-vizsgálat a bemerítéses alternatív vizsgálatnál szigorúbb, mert a kapillárisokba felszívódó sóoldat párolgásával a nátrium-klorid a pórusokban feldúsul és repesztőhatása növekszik.) A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma általában 56, kivéve a kapilláris felszívásos alternatív vizsgálatot, ha a fagyasztóközeg nátrium-klorid oldat (CDF-vizsgálat), mely esetben a ciklusszám 28. Megegyezés szerint vagy a referencia módszert, vagy a két alternatív módszer egyikét, kétség esetén mindig a referencia módszert kell alkalmazni. A három vizsgálati módszerrel kapott eredmény között nincs összefüggés. A peremes hámlasztás referencia módszere nagy hasonlóságot mutat az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti hámlasztásos, „B" módszerrel. A szabvány követelmény értéket nem tartalmaz, irodalmi ajánlások alapján (*Setzer, 1990)* fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a CDF-vizsgálat során 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m^2. Ez a követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes, kifúrt magminták esetén (a beton kora, igénybevétele stb. miatt) nem alkalmazható (*Lang* 2003; *Bollmann – Lyhs*, 2005; *Bilgeri* et al., 2007).

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti bemerítéses leválási kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya a *4. ábrán*, a kapilláris felszívásos hámlasztási CF/CDF alternatív vizsgálat alapelrendezése az *5. ábrán* látható.



4. ábra:
Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti bemerítéses kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya próbatestekkel
Jelmagyarázat: 1) Csúszófedél,
2) Tartály,
3) Fagyasztóközeg,
4) Hőmérő a próbakocka közepén,
5) Próbakocka,
6) 10 mm magas alátámasztás



5. ábra:
Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti CF/CDF vizsgálat kapilláris felszívásos hámlasztással (alternatív módszer) alapelrendezése
Jelmagyarázat: 1) Tartály fedele,
2) Vizsgálótartály, 3) Próbatest oldalainak szigetelése,
4) Fagyasztóközeg, 5) Hűtőfolyadék,
6) Hőmérő a hűtőfolyadékban a középső tartály közepe alatt, a vizsgálótartály aljára erősítve,
7) Próbatest,
8) 5 mm magas alátámasztás,
9) Támasztékok a vizsgálótartályok beállításához

2. táblázat: Fagy- és olvasztósó-állóság szabványos vizsgálatainak összehasonlítása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *4. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *5. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás
Fagyasztóközeg	3 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Próbatestet (25±5) mm-rel ellepő ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	10 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Fagyasztás levegőn, olvasztás vízben	3 mm mély réteg: 3 %-os NaCl oldat (esetleg csapvíz, lásd az „A” esetet)
Eredeti próbatest mérete	150 mm-es kocka	100 mm-es kocka	I-alakú PTFE (pl. Teflon) betéttel függőlegesen két részre osztott, 150 mm-es kockasablonban készülő, kb. 140·150 mm vizsgálati felületű, (70±5) mm magas próbatest	Vízzel telített 100 vagy 150 mm-es kocka, vagy Ø150·150 vagy Ø100·100 mm-es henger	Legalább 20 napos 150 mm-es kocka, amelynek felezőjéből ki lehet vágni az 50·150·150 mm-es vizsgálati próbatestet
Próbatestek száma	4 db kockából kivágott 1-1 próbatest	4 db kocka, két tartály 2-2 kockával	5 db próbatest	3 db vízzel telített fagyasztandó és 1 db nem fagyasztott referencia próbatest hőmérsékletmérésre	3 db próbatest
Vizsgálati felület	A vizsgálati felület az eredeti próbatest felezősíkjával azonos vágott felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztóközeggel	A sablonban a függőleges PTFE anyagú elválasztó lemezzel érintkezett, kb. 140·150 mm-es felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztóközeggel	7500-25000 mm^2 közötti felület
Fedővel zárható, rozsdamentes tartály mérete	—	Széles: (120±15) mm Hossz: (260±15) mm Magas: (150±15) mm Falvastagság: kb. 1 mm	Alakja speciális. A próbatest és a tartály függőleges fala között (30±20) mm hely legyen. Falvastagság: (0,7±0,01) mm	—	—

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *4. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *5. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Próbatestek előkészítése	21 nap: 2 db (50±2) mm vastagságú, azaz 50·150·150 mm-es próbatestet kell kivágni minden eredeti próbatestből. (25±1) nap: A (vágott) vizsgálati felület kivételével minden oldalra gumilemezt kell ragasztani. Perem-magasság: (20±1) mm. 28 nap – (72±2) óra: (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) ionmentes vízréteget kell önteni a peremek közé. Vizsgálat megkezdése előtt: A próbatest 5 oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani. Vizsgálat kezdetén a fagyasztó-kamrába helyezés (31 nap) előtt legalább 15 perccel: Az ionmentes vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) fagyasztóközeggel , és a próbatest polisztirol falát polietilén-lemezzel le kell takarni	27 nap: Próbatest lemérés után a tartályba kerül, és rá kell önteni a fagyasztóközeget, úgy, hogy a kockát (25±5) mm-rel ellepje. 28 nap: Meg kell határozni a kocka tömegét, és ki kell számítani a felvett fagyasztóközeg tömegét. Fagyasztókamrába helyezés: 28 nap	21-26 nap között: A próbatest oldalsó lapjait (4 oldal) vagy befedjük alumínium-fóliával és azt gumiragasztóval rögzítjük, vagy oldószer nélküli epoxi-gyantával tömítjük. 28 nap: Ultrahangfürdőben eltávolítjuk a próbatestről a szennyeződéseket. A próbatestet a vizsgálótartályba tesszük az (5±0,1) mm magas alátámasztásokra, a vizsgálati felülettel lefelé. Ezután beöntjük a fagyasztóközeget úgy, hogy rétegvastagsága 10 mm legyen. (A szabvány 7.4. szakasz második bekezdésének és a 7.5. feletti része a) pontjának szövege hibás, a 8. ábra helyes.) 29-35 nap: 7 nap a fagyasztóközeg felszívására, majd kezdődik a fagyasztás	28-35 nap: A fagyasztás kezdete	28-35 nap között, 7 napon át: Klímakamrában kell tárolni. Ez alatt idő alatt a próbatest 5 oldalára, – a vizsgált felület körül (20±2) mm magas peremmel – gumi réteget kell ragasztani. A peremek közé (5±2) mm magasan (20±2) °C-os vizet kell önteni, és klímaszekrénybe kell tenni (72±2) óra hosszára. A fagyasztást 28-35 nap között kell elkezdeni. A vizsgálat megkezdése előtt a próbatest 5 oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani. Vizsgálat kezdetén a fagyasztókamrába helyezés előtt 15-30 perccel a vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, (5±2) mm magas 3 %-os NaCl oldattal , és a próbatest polisztirol falát polietilén-fóliával le kell takarni

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *4. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *5. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Próbatestek tárolása	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – vizsgálat kezdetéig: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – 27 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – 28 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt, vízzel telített	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt
Hőmérsékletmérés	Legalább egy próbatest felületén a fagyasztóközegben	A kocka közepén	A folyadékhűtésű kád hűtőfolyadékában, a középső tartály alatt	Próbatest közepén	A próbatest NaCl oldattal elárasztott felületén
Hőmérséklet	Legnagyobb °C: (+24) – (+16) Legkisebb °C: (-18) – (-22)	Legnagyobb °C: (+22) – (+18) Legkisebb °C: (-13) – (-17)	Legnagyobb °C: (+21) – (+19) Legkisebb °C: (-19,5) – (-20,5)	Legnagyobb °C: (+5) – (+20) Legkisebb °C: (-12)	Legnagyobb °C: (+16) – (+24) Legkisebb °C: (-16) – (-20)
Teljes ciklusidő	24 óra	24 óra	12 óra	14 óra	24 óra
Ciklusok száma	56	56	CF vizsgálat: 56 CDF vizsgálat: 28	XF1 esetén: 50 XF3 esetén: 100	56
Olvasztás	Fagyasztókamrában fagyasztóközeggel a peremek között	A tartályokat a fagyasztóközegben lévő kockákkal és a (20±2) °C-os vizes kádba kell helyezni úgy, hogy a víz (20±5) mm-rel legyen a tartályok felső pereme alatt. Az olvasztási fázis ideje: 8 óra	Olvasztás alatt a próbatest a régi fagyasztóközegben áll, míg azt ki nem cseréljük friss folyadékra	Olvasztás (20±5)) °C-os vízben	Fagyasztókamrában fagyasztóközeggel a peremek között

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *4. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *5. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Teendők a fagyasztás-olvasztás folyamata alatt. Megjegyzés: Valamennyi NaCl oldatos vizsgálat során tanácsos a leöntött oldatokat megelemezni a betonból kioldott alkotók meghatározása céljából	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a lehámlott anyag összegyűjtése, kiszárítása (110±10) °C-on, tömegmérése, és a fagyasztóközeg cseréje	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a levált anyag összegyűjtése, a fagyasztás előtt új fagyasztóközeggel való feltöltése. Tartályok cseréje hetente, elforgatásuk és helycseréjük ciklusonként	CF vizsgálat: (14±1), (28±1), (42±1) és 56 fagyasztási ciklus után. CDF vizsgálat: (4±1), (6±1), (14±1) és 28 fagyasztási ciklus után mialatt a hőmérséklet 15 °C felett van. A vizsgáló-tartályt 3 percre bemerítjük az ultrahangfürdőbe. A lehámlott anyag összegyűjtése, kiszárítása (110±10) °C-on, tömegmérése, és a fagyasztóközeg cseréje	Legfeljebb 14 ciklusonként el kell forgatni a próbatestet 180°-kal	7 vagy 14 ciklusonként össze kell gyűjteni a lemállott részeket, és cserélni kell a NaCl oldatot
Megjegyzés	A kockából kivágott próbatest egyikét ionmentes vízzel, a párját NaCl oldattal lehet vizsgálni. Így egy fagyasztóközegben 3 próbatestet lehet vizsgálni	—	CF: **C**apillary suction of water and **F**reeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás ionmentes vízben kapilláris felszívás mellett) CDF: **C**apillary suction of **D**eicing solution and **F**reeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás NaCl oldatban kapilláris felszívás mellett)	Az olvasztósó hatásának ki nem tett beton fagyállósága a „B” módszerrel is vizsgálható, ha a fagyasztóközeg víz. Ebben az esetben az elfogadási feltétel 56 ciklus után: Tömegveszteség legfeljebb: XF1: átl.: 250, max.: 350 g/m^2 XF3: átl.: 125, max.: 175 g/m^2	—

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *4. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *5. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
ALTERNATÍV vizsgálati lehetőség	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága mindig 50 mm legyen. - Vizsgált felület nem feltétlenül vágott. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága és szélessége mindig 80-100 mm között legyen. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága mindig (70±5) mm legyen. - Más lehet az elválasztó lemezek helyzete, de akkor a próbatestet is másképp kell kialakítani. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható	MSZ EN 12371:2002 szabvány az itt leírt általános „Technologische Prüfung (Verfahren A)” módszer mellett az „Identitätsprüfung (Verfahren B)” módszert is ismeri	—
Elfogadási határérték	—	—	CDF: 1500 g/m^2 A követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes	Tömegveszteség max.: 5 tömeg%, nyomószilárdság csökkenés legfeljebb 20%	Tömegveszteség max.: XF2: átl.: 500, max.: 700 g/m^2 XF4: átl.: 250, max.: 350 g/m^2

A fagyasztás–olvasztás hatására (modell-folyamat) a beton, ill. cementkő belső szerkezete (struktúrája) sérül, és ennek mértékét a beton „alaptulajdonságaira" (szilárdság, rugalmassági modulus stb.) roncsolásos és roncsolásmentes módszerrel lehet meghatározni. *Roncsolásos módszerként* – mint említettük – elsősorban a nyomószilárdság vizsgálatot alkalmazzák, de ajánlható az annál érzékenyebb hajlító-húzószilárdság vizsgálat is.

Roncsolásmentes módszer az ultrahang terjedési idő és a rezonancia-frekvencia mérés, amelyek eredményei a dinamikai rugalmassági modulus (E_{dyn}) változásáról adnak képet. „A fagyasztás során a mikro-repedések miatt a *Poisson*-szám megváltozik, ezért az ezt figyelembe vevő rezonancia-frekvenciás módszer megbízhatóbb, mint az ultrahangos eljárás. Amerikai kutatók rezonancia-frekvenciás méréssel mutatták ki, hogy a 350 – 400 kg/m^3 cementadagolású, légbuborékképzős kísérleti betonjaik kezdeti rugalmassági modulusa 300 fagyasztási ciklusig lényegében nem változott, de a légbuborékképző nélküli betonok nagy részének kezdeti rugalmassági modulusa 150 – 300 fagyasztási ciklus között az eredetinek 60 %-a alá esett. Svéd kutatók 40 – 140 N/mm^2 közötti nyomószilárdságú betonok fagyasztása során azt tapasztalták, hogy míg a légbuborékképző nélküli betonok önrezgésszáma 250 fagyasztási ciklus után kezdett csökkenni, és a megindult repedezés miatt a kezdeti rugalmassági modulus a kiindulásinak 80 %-ára csökkent, addig a légbuborékos betonok és az agyagkavics adalékanyagú könnyűbetonok rugalmassági modulusa 10 %-nál kevesebbet változott. A megfelelő pórusrendszerű könnyű-adalékanyag légbuborékrendszerként működik." (*Erdélyi*, 1996)

A beton belső szerkezete (struktúrája) fagyhatásra történő változásának (zavarának, sérülésének, károsodásának) vizsgálatával az MSZ CEN/TR 15177:2009 európai műszaki jelentés foglalkozik. A műszaki jelentés *Setzer* (2004) munkáján alapul. A fogalom-meghatározás szerint „belső szerkezeti zavar" vagy „belső szerkezetsérülés" alatt olyan repedések keletkezését kell érteni, amelyek kívülről nem láthatók, mégis a betontulajdonságok változását (pl. a dinamikai rugalmassági modulus csökkenését) okozzák. A műszaki jelentés kidolgozói úgy vélik, hogy a gyakorlatban előforduló fagyási-olvadási feltételeket egyetlen vizsgálati módszerrel modellezni nem lehet, ezért három eljárást tesznek közzé, amelyek különböző európai országokban beváltak, és mindig megfelelő eredményekre vezettek. Ezek az eljárások arra nem értek meg, hogy valamelyiküket referencia vizsgálatként jelöljék meg, ezért ha két laboratórium azonos betont vizsgál, akkor a vizsgálati módszerben és mérési eljárásban meg kell, hogy állapodjon. Követelmény értékek alkalmazásához módszerenként meg kell határozni a laboratóriumi vizsgálati eredmények és a beton gyakorlati állapota közötti összefüggést, ugyanis a három vizsgálati módszer eredménye között nincs szoros korreláció. Az MSZ CEN/TR 15177:2009 európai műszaki jelentés a hasáb-vizsgálatot, a lemez-vizsgálatot és a CIF-vizsgálatot (**C**apillary suction **I**nternal damage and **F**reeze thaw test) tartalmazza. Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti vizsgálatok alapvetően hasonlítanak az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegveszteséget, hanem a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását, ill. esetenként a hosszméret-változást és kiegészítésként a vízfelvételt kell meghatározni. Ezeket a vizsgálatokat a fagyállóság vizsgálat előtt (kezdeti mérési eredmény), majd a (7 ± 1), (14 ± 1), (28 ± 1), (42± 1) és 56 olvasztási ciklust követően kell elvégezni.

A roncsolásmentes vizsgálatok relatív eredményének négyzete arányos a relatív dinamikai rugalmassági modulussal (*RDM*).

A relatív dinamikai rugalmassági modulus a *keresztirányú önrezgésszám* mérése esetén az *n*-edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{FF,n} = (f_n/f_0)^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol: f_n a keresztirányú önrezgésszám az *n*-edik olvasztási ciklus után, [Hz]
f_0 a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) keresztirányú önrezgésszám, [Hz]

A relatív dinamikai rugalmassági modulus az *ultrahang terjedési idejének* mérése esetén az *n*-edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{UPTT,n} = (t_{S,0}/t_{S,n})^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol: $t_{S,0}$ a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) ultrahang terjedési idő, [µs]
$t_{S,n}$ az ultrahang terjedési idő az *n*-edik olvasztási ciklus után, [µs]

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *hasáb-vizsgálat* során a sablonban készült 400·100·100 mm méretű próbahasábokat 1 napos korban ki kell zsaluzni, 7 napos korig műanyagfóliába csomagolva levegőn, majd kicsomagolva 7 napos kortól 28 napos korig víz alatt kell tárolni. A „*bemerítéses*” fagyállóság vizsgálatot a vízből való kiemelés után legkésőbb 2 órával el kell kezdeni, és az erre a célra készített próbatest közepén mért hőmérséklettel a fagyasztási diagramot követve kell végezni. A fagyasztóközeg ionmentes víz, a fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hullámokat elnyelő anyagra (pl. habanyagra) fektetett hasábokon keresztirányban a relatív önrezgésszám és hosszirányban a relatív ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidejűleg meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *lemez-vizsgálat* 150·150·50 mm méretű próbatestét 150 mm méretű, 1 napos korban kizsaluzott, 7 napos korig víz alatt, azt követően 28 napos korig klímaszekrényben tárolt próbakockából, 21 napos korban, a próbakocka lesimított felületére merőlegesen kell kivágni. A vizsgálati felület a kocka felezősíkjának vágott felülete. A kivágott próbatest alsó lapjára és oldalaira – a vizsgált 150·150 mm méretű, vágott lap kivételével – gumilapokat kell ragasztani, amelyek az oldalakon peremet képezve 20 mm-rel túlnyúlnak, és külső hőszigetelést kapnak. A „*peremes*” fagyállóság vizsgálat 28 napos korban, a vizsgált felület ionmentes vízzel, 72 órán át tartó telítésével kezdődik, és a fagyasztószekrényben folytatódik. A peremek közé kerülő fagyasztóközeg ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat, amelynek rétegvastagsága 3 mm. A hőmérsékleti diagramot a fagyasztóközegben, a vizsgált felület közepén mért hőmérséklettel kell követni. A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hosszméret-változást (referencia-vizsgálat) három-pontos, mérőórás eszközzel, két szemben lévő oldallapra erősített mérőpont között kell vizsgálni. A keresztirányú önrezgésszámot (alternatív vizsgálat) a vizsgált 150·150 mm méretű felületen, az ultrahang terjedési időt (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni, miközben a próbalemez habanyagon fekszik. A lemez-vizsgálat során a hosszméret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében.

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *CIF-vizsgálat* próbatesteinek mérete, tárolása és a fagyállóság vizsgálat lényegében megegyezik az MSZ EN 12390-9:2007 szabvány szerinti „*kapilláris felszívásos*” vizsgálattal. A fagyasztás a 28 napos korban kezdett, 7 napig tartó, (20 ± 2) ºC hőmérsékleten végzett folyadék-felszívást követően kezdődik. A fagyasztóközeg a vizsgálótartályban lévő 10 mm rétegvastagságú ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat. A CIF-vizsgálat során az ultrahang terjedési időt (referencia-vizsgálat) a pl. plexi

tartóba helyezett próbatest két-két szemben lévő oldallapja között, a hosszméret-változást (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni. A keresztirányú önrezgésszám (alternatív vizsgálat) vizsgálatához a próbatestet a vizsgált 140·150 mm méretű vizsgálati felülettel lefele a hullámnyelő habanyagra kell fektetni, és a keresztirányú önrezgésszámot a felső felületen kell vizsgálni. A CIF-vizsgálat során a hosszméret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Végül a betonok fagy- és olvasztósó-állóságával kapcsolatban megjegyezzük, hogy az – mint ismeretes – a beton áteresztőképességének is függvénye. A beton áteresztőképességéről, ill. a sóoldat kapilláris felszívódásáról a kloridionok behatolásával szembeni ellenállóképesség ASTM C 1207:1997 szabvány szerinti 6 órás gyorsvizsgálata adhat tájékoztatást.

A felületi bevonat fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálata

A *betonszerkezetek védelmére és javítására* szolgáló cement (CC: Cement-Concrete), műanyag-cement (PCC: Polimer-Cement-Concrete) és műanyag (PC: Polimer-Concrete) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy-, olvasztósó- és hőállóságának vizsgálatára külön szabványokat dolgoztak ki (MSZ EN 13687 sorozat). A próbatestek előírt módon szilárdított felületi bevonatokkal (feltehetően a vizsgálati felületen) ellátott 300·300·100 mm méretű, MSZ EN 1766:2000 szerinti referencia betonból készített lapok, amelyeket a vizsgálat előtt a hátoldal és az oldallapok folyadékfelvétele ellen a vizsgált 300·300 mm méretű felület kivételével hőre szilárduló gyantával kell bevonni.

A próbatestek száma három, ebből egy referencia próbatest. A vizsgálatok ciklusszáma 10, a ciklusokat az MSZ EN 1504-2:2005, ill. MSZ EN 1504-3:2006 szabványban előírtak szerint egyszer kell megismételni. (Az előírt 20 ciklus a hazai időjárási körülmények között nem feltétlenül elegendő.) A próbatesteknek a vizsgálatot meghibásodás és elváltozás nélkül kell viselniük. A fagyasztási-olvasztási ciklusok után a próbatesteket laboratóriumi körülmények között [(21 ± 2) °C levegő hőmérséklet és (60 ± 10) % relatív levegő nedvességtartalom] legalább 7 napon át kell tárolni, majd ezután meg kell vizsgálni a felületi bevonat, ill. rendszer tapadó-húzószilárdságát az MSZ EN 1542:2000 szabvány szerint. Ha a bevonat a gyakorlatban függőleges felületre kerül, akkor a tapadó-húzószilárdság átlaga legalább 0,8 N/mm^2, legkisebb értéke legalább 0,5 N/mm^2; ha terhelés nélküli vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,0 N/mm^2, a legkisebb érték legalább 0,7 N/mm^2; ha terhelt vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,5 N/mm^2, a legkisebb érték legalább 1,0 N/mm^2 kell legyen.

Az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek olvasztósó oldatba merítéses fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatával foglalkozik. A fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű telített nátrium-klorid oldatban, az olvasztás (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben történik. Mindkét fázis hossza 2 óra, a ciklusidő tehát 4 óra.

MSZ EN 13687-3:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek fagy- és hőállósági vizsgálatát írja le, olvasztósóoldat hatása nélkül. A vizsgálat referencia-eszköztára (-15 ± 2) °C hőmérsékletű fagyasztó légtér, (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízfürdő és (60 ± 2) °C hőmérsékletű melegítő légtér előállítására alkalmas berendezésekből áll, amelyek között a próbatesteket kézzel mozgatják. A vizsgálat programozható fagyasztó-temperáló-fűtő berendezéssel is végezhető. A ciklus kézi mozgatású vizsgálat esetén a következő fázisokból áll: 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 4 óra fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben, 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 16 óra hevítés (60 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben. A ciklusidő tehát 24 óra. Programozható berendezés alkalmazásakor a lehűtés és felmelegítés időigénye miatt a hevítés ideje 10 óra, a fagyasztás és felhevítés között a vízfürdő ideje 75 perc, a hőntartás után 105 perc. A ciklusidő ez esetben is 24 óra.

Felhasznált irodalom

MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 206-1:2002	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség (Módosítások: MSZ EN 206-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 206-1:2000/A2:2005)
MSZ EN 480-11:2006	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása
MSZ EN 934-2:2009	Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés
MSZ EN 1097-6:2001	Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása (Módosítás: MSZ EN 1097-6:2000/A1:2006)
MSZ EN 1338:2003	Beton útburkoló elemek. Követelmények és vizsgálati módszerek
MSZ EN 1367-1:2007	Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálata. 1. rész: A fagyállóság meghatározása
MSZ EN 1367-2:1999	Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás
MSZ EN 1367-6:2009	Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálatai. 6. rész: A fagyállóság meghatározása só (NaCl) jelenlétében
MSZ EN 1504-2:2005	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 2. rész: A beton felületvédelmi rendszerei
MSZ EN 1504-3:2006	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 3. rész: Szerkezeti és nem szerkezeti javítás
MSZ EN 1542:2000	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A tapadószilárdság meghatározása leszakítással
MSZ EN 1766:2000	Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. Referenciabetonok vizsgálathoz
MSZ EN 12371:2002	Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A fagyállóság meghatározása
MSZ EN 12620:2006	Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz (Módosítás: MSZ EN 12620:2002+A1:2008)

MSZ EN 13687-1:2002 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 1. rész: Fagyasztási-olvasztási ciklusok olvasztósó oldatba merítéssel

MSZ EN 13687-3:2002 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 3. rész: Hőmérséklet-változási ciklusok olvasztósóoldat hatása nélkül

prEN 12390-9:2002 Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling, ill. Prüfung von Festbeton. Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung

MSZ CEN/TS 12390-9:2007 A megszilárdult beton vizsgálata. 9. rész: Fagyállóság. Lehámlás. Műszaki előírás, amely a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet felváltotta.

MSZ CEN/TR 15177:2009 A beton fagyállóságának vizsgálata. Belső szerkezeti károsodás. Műszaki jelentés

DIN 1045-2:2008 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendunsregeln zu DIN EN 206-1. A DIN EN 206-1 európai szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma

DIN-Fachbericht 100:2005 Beton. Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung Zusammenstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

Balázs L. Gy. – Kausay T.: Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények. Vasbetonépítés. 1. rész: értelmezés. X. évf. 2008. 4. szám. pp. 127-135.; 2. rész: Vizsgálat. XI. évf. 2009. 2. szám. pp. 55-65.

Bilgeri, P. – Eickschen, E. – Felsch, K. – Klaus, I. – Vogel, P. – Rendchen, K.: Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton. Beton-Informationen. 2007. No. 2. pp. 15-31.

Bollmann, K. – Lyhs, P.: Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N (st). Beton-Informationen. 2005. No. 5. pp. 91-100.

Erdélyi A.: Légpórusrendszer és betontartósság. c. fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága” c. konferencia kiadványban (szerk.: Balázs Gy. és Balázs L. Gy.), 1996. pp. 129-138. Műegyetemi Kiadó, Budapest

Kausay T.: Betonok környezeti osztályai. Beton. XVII. évf. 2009. 7-8. szám. pp. 3-8.

Lang, E.: Einfluss unterschiedlicher Karbonatphasen auf den Frost-Tausalzwiderstand – Labor- und Praxisverhalten. Beton-Informationen. 2003. No. 3. pp. 39-57.

Setzer, M. J.: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Betonwaren. Universität GH Essen. Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen. 1990. Nr. 49.

Setzer, M. J.: CIF Test – Testmethode zur Bestimmung des Frostwiderstands von Beton (CIF) – RILEM Recommendation TC 117-FDC: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test – Referenze method and alternative methods A and B. Materials and Structures. Vol. 37. 2004. pp. 743-753.

Springenschmid, R.: Betontechnologie für die Praxis. Bauwerk Verlag GmbH., Berlin, 2007.

Zement Taschenbuch: Verein Deutscher Zementwerke e. V. 2002. Düsseldorf

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2010. február havi számának 14-18. oldalán (1. rész) és a 2010. április havi számának 14-19. oldalán (2. rész)

Vissza a

Noteszlapok abc-ben **Noteszlapok tematikusan**

tartalomjegyzékhez

Vissza a Fogalmak könyvtár tartalomjegyzékéhez

OC-görbe, működési jelleggörbe, elfogadási jelleggörbe

Németül:	OC-kurve, Annahmekennlinie, OC-Funktion
Angolul:	Operating characteristic curve
Franciául:	Caractéristique de fonctionnement, courbe d'efficacité

Az OC-görbe fogalma

Az OC-görbe (nevezik működési vagy elfogadási jelleggörbének is) valamely p alulmaradási hányadú tétel A(p) elfogadási valószínűségét adja meg, ha a mintavételek n száma és a megengedett nem megfelelő minták $k_{\text{megengedett}}$ száma adott.

Annak valószínűsége, hogy az N elemű, M nem megfelelő elemet tartalmazó halmazból visszatevés nélküli reprezentatív mintavétellel nyert n elemű mintában a nem megfelelő elemek száma k, a P_k hipergeometrikus valószínűségeloszlással számítható ki:

$$P_k = \frac{\binom{M}{k} \cdot \binom{N-M}{n-k}}{\binom{N}{n}}$$

A valószínűséget pontosan leíró hipergeometrikus eloszlás esetén a visszatevés nélküli mintavétel következtében minden egyes mintaelem kivételekor megváltozik a halmaz eredeti $p = M/N$ alulmaradási hányada. A hipergeometrikus eloszlás felhasználása nehézséget jelent, hogy nagy N számok mellett a valószínűségek kiszámítása igen körülményes. Ezért azzal a közelítő feltételezéssel szokás élni, hogy a minta elemei csak az adott elem vizsgálatának idejére kerülnek ki a halmazból. Az ilyen visszatevéses reprezentatív mintavétel esetén a nem megfelelő elemek részaránya a halmazban változatlan marad, azaz $p = M/N$ = konstans (*Kausay T.* 1970). Ebben az esetben a visszatevéses mintavétel feltételezése mellett a keresett valószínűséget a könnyebben meghatározható

$$B_k = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$$

binomiális valószínűségeloszlás fejezi ki, ahol $k = 0, 1, 2, \ldots n$; $0 \leq p = \leq 1{,}0$.

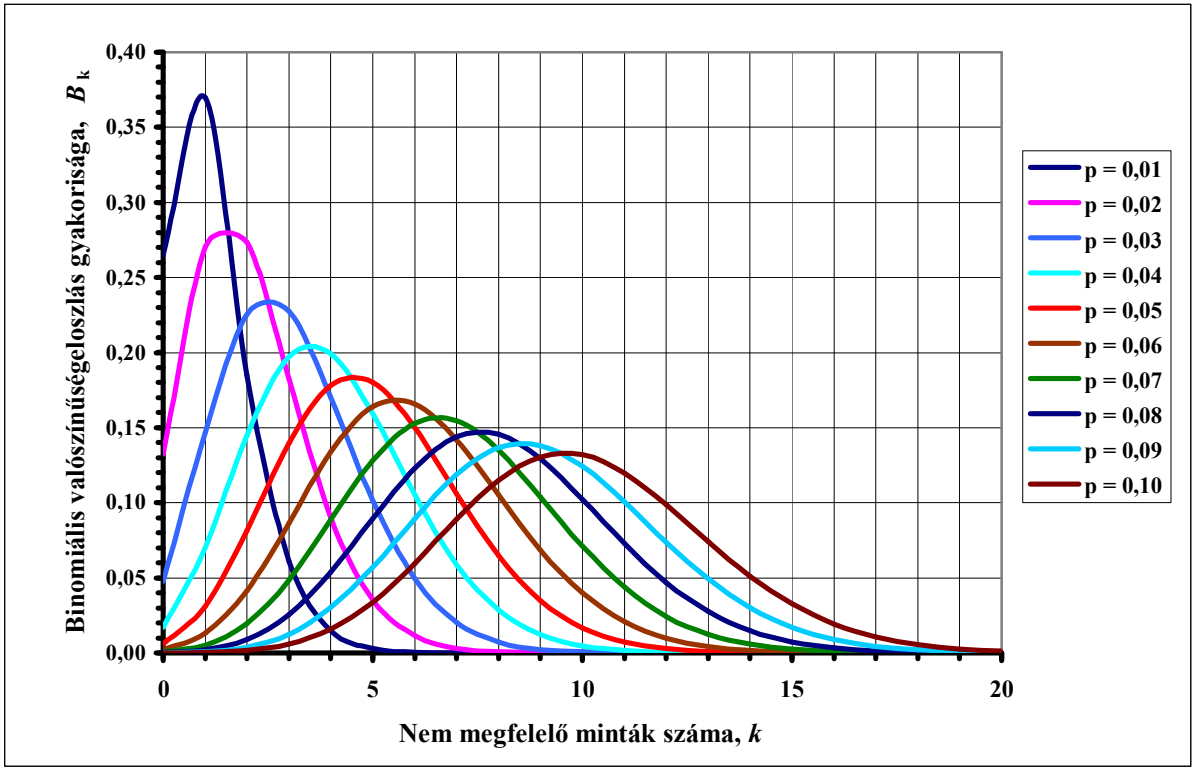
Példaként vizsgáljuk meg, mi a valószínűsége (B_k) annak, hogy különböző p alulmaradási hányadú tételekből $n = 100$ számú mintát véve a nem megfelelő minták száma k. A választ a 100-adrendű, p paraméterű binomiális valószínűségeloszlás gyakoriságfüggvényei adják meg (*1. ábra*).

A binomiális eloszlás diszkrét eloszlás, de szemléletesség kedvéért az *1. és 2. ábrán* az egyes valószínűségeket ábrázoló pontokat összekötöttük.

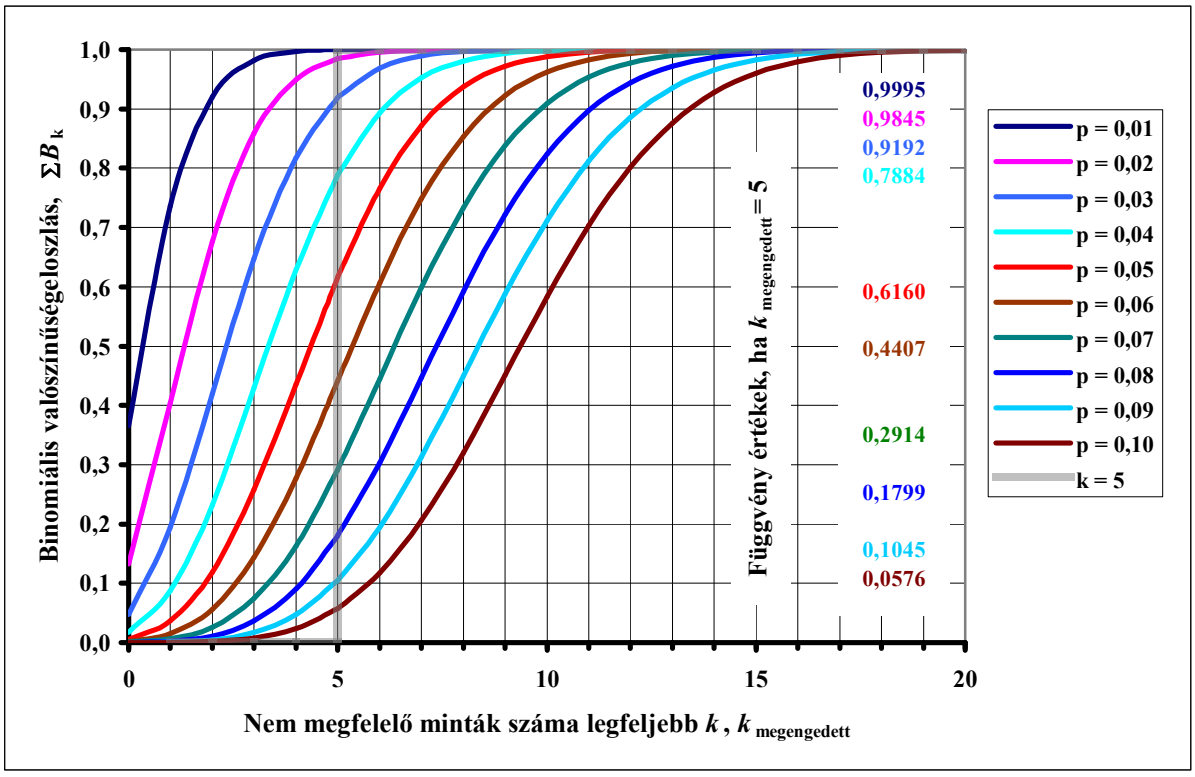
Az *1. ábrán* látni, hogy a binomiális eloszlás nem szimmetrikus, hanem egyre inkább jobbra elnyúló (jobbra egyre ferdébb), ha p értéke tart a nullához. A binomiális eloszlás a $p = 0{,}5$ értéknél szimmetrikus, és attól $p = 0{,}0$, illetve $p = 1{,}0$ felé távolodva egyre ferdébb (jobbra,

illetve balra). Ennek következménye, hogy esetünkben – lévén jobbra ferdülő eloszlás – a modusznál nagyobb a medián, és a mediánnál nagyobb a valószínűségi változók (k) számtani középérték. A modusz a legnagyobb B_k valószínűséghez tartozó valószínűségi változó (k_{modusz}), itt a gyakoriságfüggvénynek maximuma, az eloszlásfüggvénynek inflexiós pontja van. A medián az a valószínűségi változó ($k_{medián}$), amelynél az eloszlásfüggvény $\Sigma B_k = 0{,}5$ értéket vesz fel, feltéve, hogy ilyen létezik (*Vincze E.* 1972, *Vincze I.* 1958).

A binomiális valószínűségeloszlás gyakoriságfüggvényeiből meghatározhatók az eloszlásfüggvények, amelyek azt fejezik ki, mi a valószínűsége (ΣB_k) annak, hogy különböző p alulmaradási hányadú tételekből példánk szerint n = 100 számú mintát véve, a nem megfelelő minták száma legfeljebb $k_{megengedett}$ (*2. ábra*).



1. ábra: Binomiális valószínűségeloszlás gyakoriságfüggvénye, ha a mintavételek száma n = 100

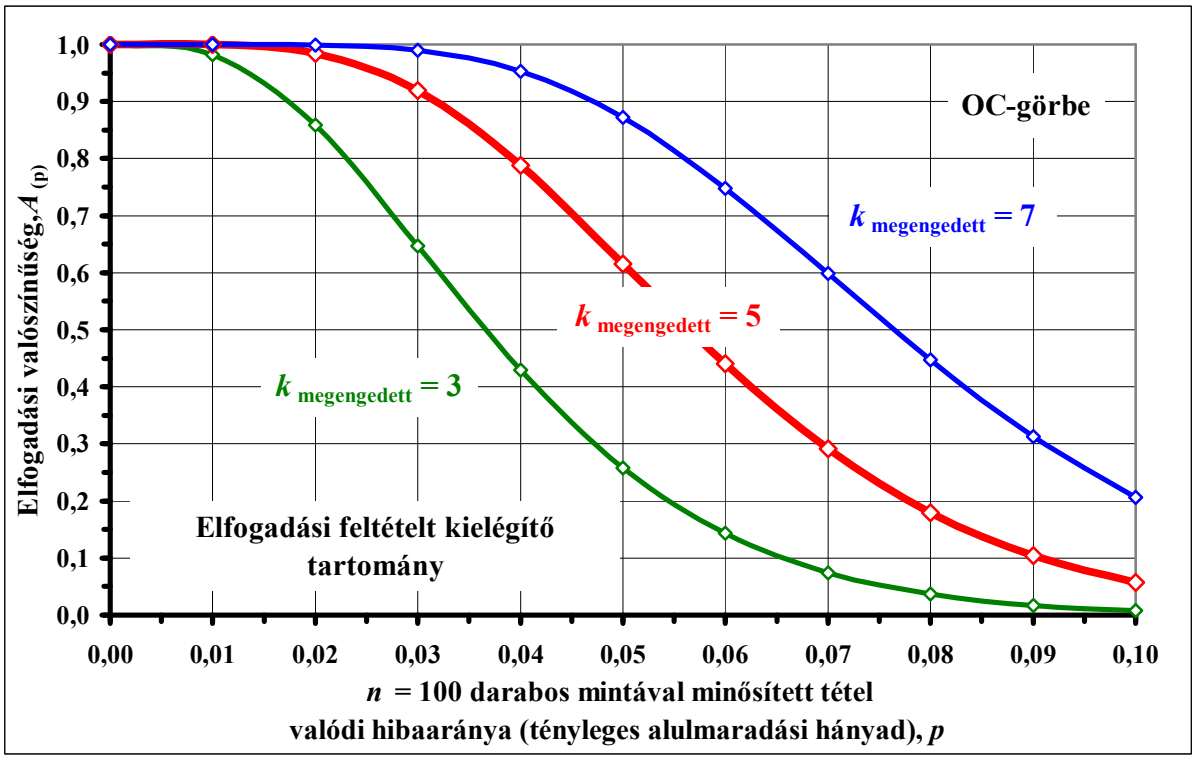


2. ábra: Binomiális valószínűségeloszlás eloszlásfüggvénye, ha a mintavételek száma n = 100

A *2. ábra* valószínűségi eloszlásfüggvényeiből leolvasható, hogy a tételből n = 100 számú mintát véve, annak a valószínűsége, hogy a nem megfelelő minták megengedett száma – mint a tétel elfogadásának feltétele – $k_{\text{megengedett}} = 5$, például p = 0,01 alulmaradási hányadú tétel esetén 0,9995, p = 0,02 alulmaradási hányadú tétel esetén 0,9845, p = 0,03 alulmaradási hányadú tétel esetén 0,9192 stb. A *2. ábra* $k_{\text{megengedett}} = 5$ abszcisszájához tartozó (p, ΣB_k) értékpárokat új koordinátarendszerben ábrázolva és folyamatos vonallal összekötve, a $\Sigma B_k = A(p)$ elfogadási valószínűségeket kapjuk meg a tétel tényleges p alulmaradási hányada függvényében (*3. ábra* középső görbe). Az így megszerkesztett *3. ábra* szerinti függvényt nevezzük OC-görbének. A görbe alatti tartomány az elfogadási feltételt kielégítő esetek megjelenési helye.

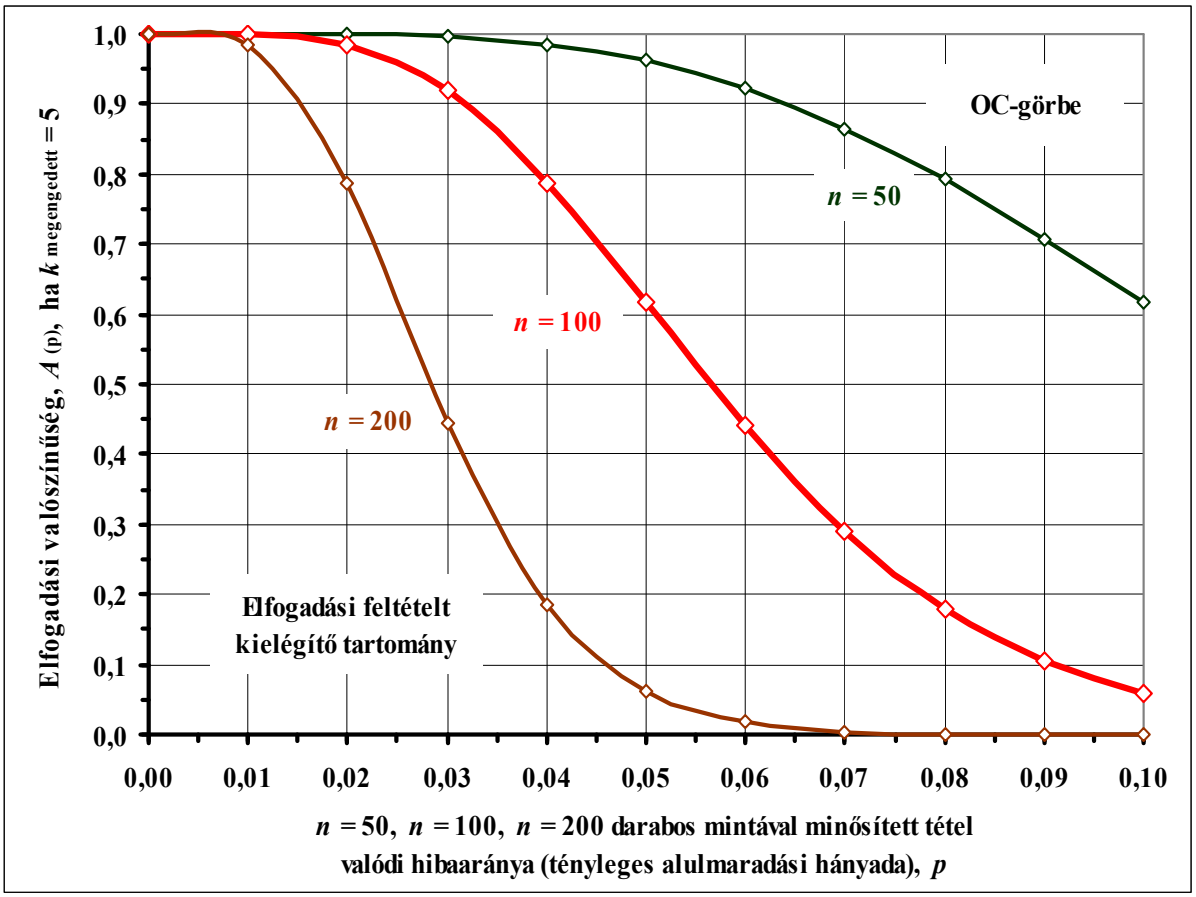
Az OC-görbéből tehát például azt olvashatjuk le, mi a valószínűsége annak, hogy a p (például 0,05) alulmaradási hányadú tételből kivett n (például 100) számú mintában a megengedett nem megfelelő minták száma legfeljebb k, azaz $k_{\text{megengedett}}$ (például 5). Ebben az esetben a tételt éppen elfogadjuk, aminek a valószínűsége a példánkban $\Sigma B_k = A(p) = 0{,}616$.

Az OC-görbét három paraméter határozza meg: a valószínűségeloszlás függvény típusa (esetünkben binomiális), amely a p, n, k változók közötti kapcsolatot fejezi ki, a mintavételek száma és a megengedett nem megfelelő minták száma. Ha adott n mintavételi szám (esetünkben n = 100) és adott p tényleges alulmaradási hányad esetén a megengedett nem megfelelő minták száma növekszik (a *3. ábrán* $k_{\text{megengedett}} = 3 \rightarrow 7$), akkor az $A(p)$ elfogadási valószínűség növekszik. Ha adott nem megfelelő minta szám (esetünkben $k_{\text{megengedett}} = 5$) és adott p tényleges alulmaradási hányad esetén az n mintavételi szám növekszik (a *4. ábrán* $n = 50 \rightarrow 200$), akkor az $A(p)$ elfogadási valószínűség csökken.



3. ábra: Elfogadási valószínűségi görbe binomiális eloszlás feltételezésével, ha a mintavételek száma $n = 100$ és a megengedett nem megfelelő minták száma $k_{\text{megengedett}} = 3$, $k_{\text{megengedett}} = 5$ és $k_{\text{megengedett}} = 7$

A minták nem megfelelőségének feltétele és a megengedett nem megfelelő minták száma (részaránya) építőanyag fajtánként és szabványonként változik. Például szilárdsági szempontból nem megfelelő a beton próbatest, ha nyomószilárdsága kisebb, mint az f_{ck} előírt jellemző érték, és a megengedett nem megfelelő minták száma $n = 100$ esetből $k_{\text{megengedett}} = 5$ (MSZ 4798-1:2004); szilárdsági szempontból nem megfelelő a B500 jelű bordázott hegeszthető betonacél pálca, ha folyáshatárának jellemző értéke kisebb, mint $0{,}97 \cdot R_e = 0{,}97 \cdot 500 = 485$ N/mm^2 és szakítószilárdsága kisebb, mint $0{,}97 \cdot R_m = 0{,}97 \cdot 600 = 582$ N/mm^2, és a megengedett nem megfelelő minták száma $n = 100$ esetből $k_{\text{megengedett}} = 5$ (MSZ 339:2008.10.06. szabványjavaslat) stb.



4. ábra: Elfogadási valószínűségi görbe binomiális eloszlás feltételezésével, ha a mintavételek száma $n = 50$, $n = 100$ és $n = 200$, és a megengedett nem megfelelő minták száma $k_{\text{megengedett}} = 5$

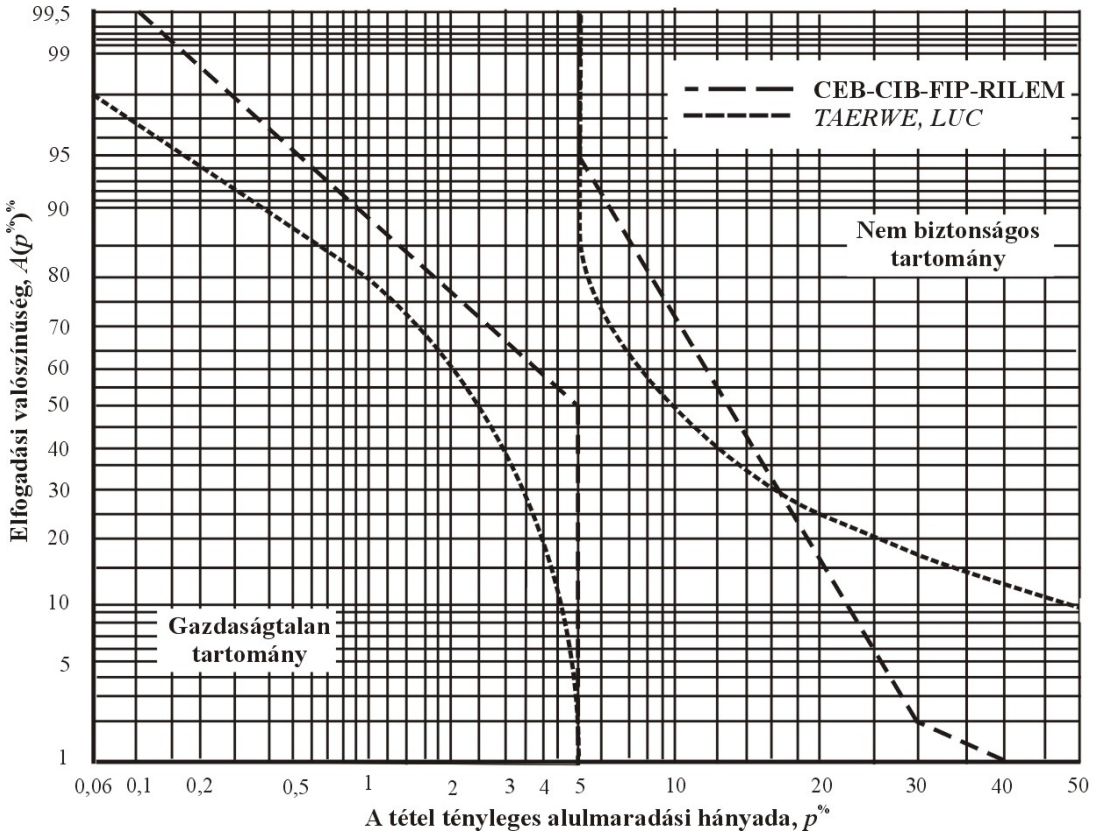
OC-görbe a beton nyomószilárdság szerinti megfelelőségének értékelésére

A CEB-CIB-FIP-RILEM munkabizottsága 1975-ben a „Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgement of Acceptability of Concrete" című ajánlásában megadta, és 1978-ban a betonszerkezetekre vonatkozó CEB-FIP modell-kódban közzétette az OC-görbék határvonalait, amelyek a kétszeres valószínűségi koordinátarendszerben egyenesek (CEB-FIP 1978, *Palotás L.* 1979, *Windisch A. – Szalai K.* 1982, *Windisch A. – Balázs Gy.* 1983, *György L.* - MÉASZ ME-04.19:1995, 6.3.4.4.4. szakasz). E koordinátarendszer hasonlít a *Gauss*-papírhoz (*Gauss*-hálóhoz), ordináta tengelye a *Gauss*-féle normáleloszlás eloszlásfüggvényének inverz függvénye szerint készült, de abszcissza tengelye nem egyenletes és nem logaritmikus, hanem feltehetőleg logaritmikus normális beosztású (*5. és 6. ábra*). Az *5. és 6. ábrán* az alsó határvonal alatti terület a gazdaságtalan (túl biztonságos) megoldások tartománya, a felső határvonal feletti terület a nem biztonságos megoldások tartománya.

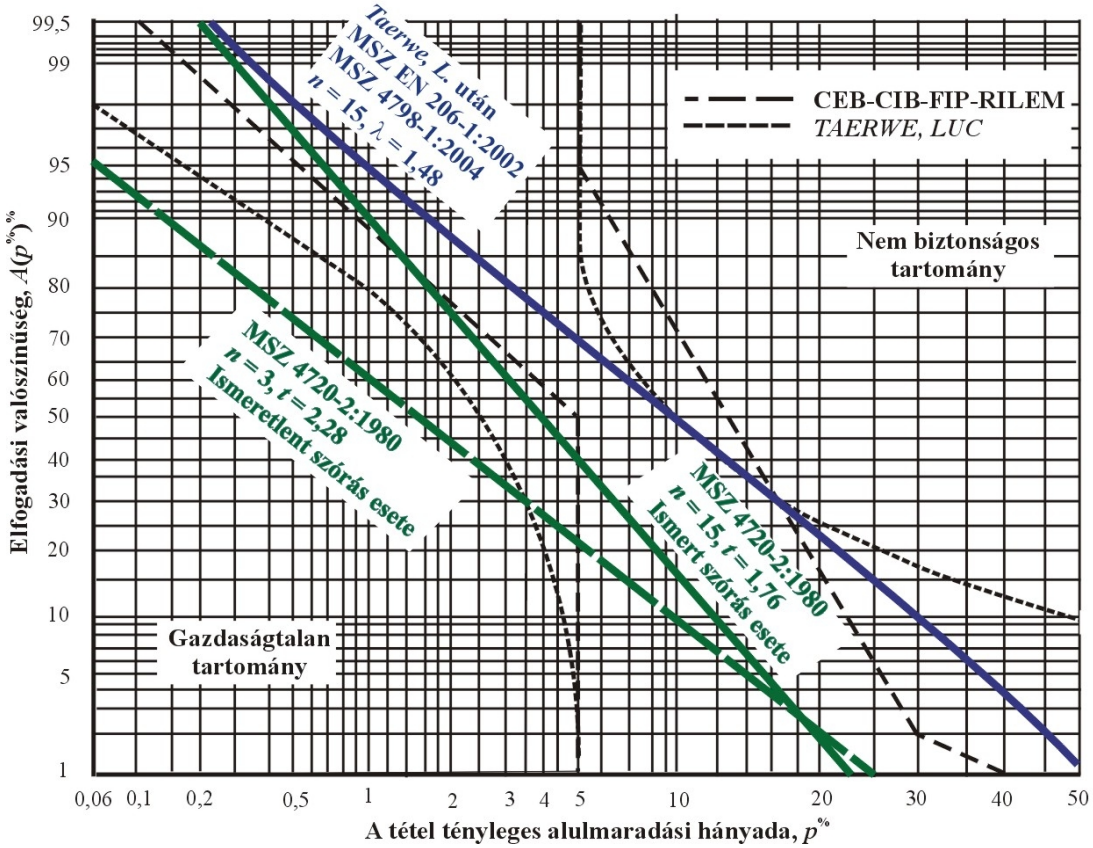
Taerwe, L. 1986-ban a CEB-FIP – transzformált koordinátarendszerben – egyenes határvonalait görbe vonalakkal helyettesítette (*5.*, illetve *6. ábra*). A felső határgörbét (a nem biztonságos tartomány határgörbéjét) úgy szerkesztette meg, hogy arra fennáll az $p \cdot A(p) = 0{,}05$ egyenlőség (például $0{,}05 \cdot 1{,}0$; $0{,}1 \cdot 0{,}5$; $0{,}2 \cdot 0{,}25$; $0{,}5 \cdot 0{,}1$). Elfogadási feltételeinek OC-görbéit (transzformált koordinátarendszerben közel egyenesek) a (0,1; 0,5) koordinátájú pontban érintőlegesen a felső határgörbéhez illesztette (*6. ábra*). A *6. ábrán* feltüntetett $n = 15$, $\lambda = 1{,}48$ paraméterű *Taerwe*-féle OC-görbe a vizsgálati eredmények közötti gyenge

összefüggés (egymástól nem teljesen független eredmények) esetén érvényes. Ezt alkalmazza az MSZ EN 206-1:2002 betonszabvány a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételeként, és átvette az MSZ 4798-1:2004 nemzeti alkalmazási dokumentum is.

A *6. ábrán* – összehasonlításul – a visszavont MSZ 4720-2:1980 szabvány elfogadási feltételének OC-görbéjét is megrajzoltuk. Az MSZ 4720-2:1980 szabvány szilárdsági előírása azon a feltételezésen alapult, hogy a szabványos betonok variációs tényezője (a szilárdság szórása osztva az átlagos nyomószilárdsággal) 0,15, és szilárdság eloszlása a *Gauss*-féle normális eloszlásnak ❖ felel meg (MÉÁSZ ME-04.19:1995, 6.3.4.4.3. szakasz).



5. ábra: Az OC-görbék határvonalai a CEB-CIB-FIP-RILEM ajánlás szerint (MSZ 4720-2:1980) és azok *Taerwe, L.* által módosított változatai (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004). Forrás: *Taerwe, L.* 1986



6. ábra: *Taerwe, L.* elfogadási feltételének OC-görbéje a vizsgálati eredmények közötti gyenge összefüggés esetén (forrás: *Taerwe, L.* 1986) összehasonlítva a visszavont MSZ 4720-2:1980 szabvány ismeretlen és ismert szóráson alapuló elfogadási feltételének OC-görbéjével (forrás: MÉASZ ME-04.19:1995)

A *6. ábrán* kitűnik, hogy míg az MSZ 4720-2:1980 szabvány szerinti átadás-átvételi eljárásban n = 15 minta esetén az elfogadási-vissszautasítási valószínűség a kritikusan megfelelő betonra (alulmaradási hányad 5 %)[1] nézve közelítőleg 40-60 % volt, addig a *Taerwe*-féle OC-görbét követő MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabványok szerint a folyamatos gyártás során ugyancsak n = 15 minta esetén az átadás-visszautasítás valószínűsége a kritikusan megfelelő betonnál (alulmaradási hányad 5 %) közelítőleg 70-30 % (*Kausay T.* 2006 és 2007).

Az új betonszabványokban (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételében szereplő, az n = 15 mintaszámhoz tartozó $\lambda_{n=15}$ = 1,48 értékű alulmaradási tényező lényegében a korábbi betonszabványban (MSZ 4720-2:1980) szereplő *Student*-tényező szerepét tölti be. A *Student*-tényező értéke (t_n) a mintaszámtól függött, értéke a korábbi betonszabványban minden esetben legalább t_∞ = 1,645 ($n = \infty$), de kis elemszámú minta esetén ennél lényegesen nagyobb volt. Az új betonszabványok – ezen a ponton legalábbis – egyértelműen a gyártónak kedveznek, hiszen

[1] Érdekességként megjegyezzük, hogy az 1970-es évek közepén-végén úgy tervezték, hogy a beton nyomószilárdságának jellemző értékét (küszöbszilárdságát) 2,275 %-os valószínűségi szint (alulmaradási hányad) figyelembevételével fogják meghatározni, amelyhez a *Gauss*-féle normális eloszlás estén $2{\cdot}\sigma$ alulmaradási tágasság tartozik (*Bölcskei E. – Dulácska E.* 1974, *Palotás L.* 1979). Az elképzelés nem valósult meg, ugyanis az MSZ 4720-2:1980 szabványban az 5 %-os alulmaradási hányad képezte a jellemző érték számításának alapját. (Az MSZ 4720-2:1980 szabványt megelőző MSZ 4720:1961 és az abban hivatkozott MSZ 4715:1961 szabvány sem alkalmazta a 2,275 %-os valószínűségi szinten történő számítást.)

minél kisebb az $f_{ck} = f_{cm} - \lambda_n \cdot s_n$ összefüggésben a szorzóként szereplő λ_n, illetve t_n alulmaradási tényező ❖, adott átlagos nyomószilárdság (f_{cm}) és szórás (s_n) esetén annál nagyobb jellemző érték (f_{ck}) adódik. Az új és a régi betonszabványok megfelelőségi feltételrendszere alapvetően különbözik, és ez az OC-görbék eltérő elhelyezkedésében is megmutatkozik: a régi szabvány a beépített beton nyomószilárdságát egy szúrópróbaszerűen is alkalmazható megfelelőségi feltétellel biztosította, az új szabványok pedig egy folyamatos nyomon követést és utólagos javítást feltételező – de azt elő nem író – minőségbiztosítási rendszer részeként alkalmazható megfelelőségi feltétellel kívánják biztosítani. A beton valamely nyomószilárdsági osztályát az európai szabvány szerint kisebb biztonsággal, kisebb nyomószilárdságokkal lehet elérni, mint a régi MSZ 4720-2:1980, vagy akár a régi DIN 1084:1988 és DIN 1045:1988 szabvánnyal lehetett (*Zäschke, W.* 1994, *Fischer L.* 1999).

Felhasznált szabványok és irodalom

MSZ 339:2008.10.06. szabványjavaslat. Betonacélok. Melegen hengerelt betonacél, hidegen alakított betonacélhuzal, gépi hegesztéssel készített síkhálók és térbeli rácos tartók. Követelmények

MSZ 4715:1961 Megszilárdult beton vizsgálata

MSZ 4720:1961 A betonok minőségi követelményei és minősítésük

MSZ 4720-2:1980 A beton minőségének ellenőrzése. 2. rész: Általános tulajdonságok ellenőrzése

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ EN 206-1:2002 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség (Módosítások: MSZ EN 206-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 206-1:2000/A2:2005)

DIN 1084-1 és -3:1988 Überwachung (Güteüberwachung) im beton- und Stahlbetonbau. Teil 1: Beton BII auf Baustellen, Teil 3: Transportbeton

DIN 1045:1988 Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung

Bölcskei Elemér – Dulácska Endre: Statikusok könyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.

Fischer, Lutz: Sicherheitskonzept für neue Normen. ENV und DIN-neu. Grundlagen und Hintergrundinformationen. Teil 3: Statistische Auswertung von Stichproben im eindimensionalen Fall. Bautechnik, 76. 1999. Heft 4. pp. 328-338.

György László: Az MSZ 4720 és az MSZ ENV 206 T minősítési módszereinek az összehasonlítása. MÉÁSZ ME-04.19:1995 „Beton és vasbeton készítése” című műszaki előírás (szerkesztette és írta Ujhelyi János), 6. fejezet: „Vizsgálat, minőség-ellenőrzés, minőségtanúsítás” 6.3.4.4.4. szakasza, Budapest, 1995.

International System of Unified Standard Codes of Practice for Structures, Vol. II, CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, CEB-FIP, 1978.

Kausay Tibor: A szemcsealak minősítéses vizsgálatának mintaelemszáma. Mélyépítéstudományi Szemle. XX. évfolyam. 1970. 8. szám, pp. 373-388.

Kausay Tibor: A beton nyomószilárdságának elfogadása. Vasbetonépítés. VIII. évfolyam, 2006. 2. szám, pp. 35-44.

Kausay Tibor: Alulmaradási tényező. Fogalom-tár. Beton szakmai havilap. XV. Évfolyam, 2007. 1. szám, pp. 3-5.

Palotás László: Mérnöki szerkezetek anyagtana 1. kötet. Általános anyagismeret. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.

Taerwe, Luc: A General Basis for the Selection of Compliance Criteria (A megfelelőségi feltételek kiválasztásának általános alapja). IABSE Proceedings P-102/86. IABSE Periodica 3/1986 August.

Vincze Endre: Műszaki matematika. V. kötet. Valószínűségszámítás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.

Vincze István (szerkesztette): Statisztikai minőség-ellenőrzés. Az ipari minőségellenőrzés matematikai statisztikai módszerei. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1958.

Windisch Andor: Valószínűségelméleti és matematikai statisztikai alapismeretek. Szalai Kálmán „A beton minőségellenőrzése” című könyvének 3. fejezete. Szabványkiadó, Budapest, 1982.

Windisch Andor: A beton minőségének ellenőrzése. Balázs György „Építőanyag praktikum” című könyvének 4.6.2. fejezete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.

Zäschke, Wolfgang: Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit von Beton. Betonwerk + Fertigteil-Technik, 60. Jg. 1994. Heft 9. pp. 94-100.

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk megjelent a	BETON szakmai havilap	2010. szeptember havi számának, XVIII. évf. 9. szám, 16-19. oldalán

Vissza a

Noteszlapok abc-ben **Noteszlapok tematikusan**

tartalomjegyzékhez

Vissza a Fogalmak könyvtár tartalomjegyzékéhez

Lásd még az elektronikus *Betonos[e]könyv* lapjait:

http://www.betonos-e-konyv.hu/book.php?pdf=betekon-101-6-2.pdf&fb3d-page=1

	Fiatal beton szilárdulási folyamata 1. rész: Nurse-Saul-féle modell, Papadakis-Bresson-féle modell	

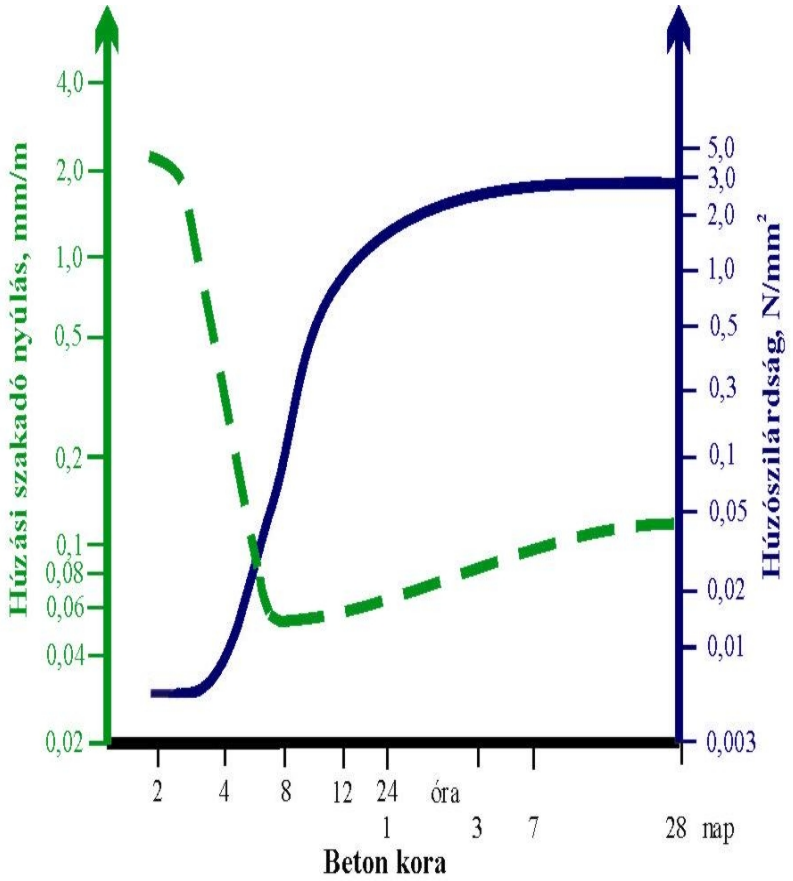
Németül:	Festigkeitsentwicklung des jungen Betons. 1. Teil: Modell nach Nurse-Saul, Modell nach Papadakis-Bresson
Angolul:	Hardening process of young concrete. Part 1: Model for Nurse-Saul, Model for Papadakis-Bresson
Franciául:	Processus de durcissement du béton jeunes. Partie 1: Modèle pour Nurse-Saul, Modèle pour Papadakis-Bresson

1. BEVEZETÉS

A beton, illetve az előre gyártott beton elem korai repedés érzékenysége, kizsaluzhatósága, előfeszíthetősége, szállíthatósága stb. a *fiatal beton* szilárdulási (érési) tulajdonságaitól függ.

A fiatal beton szilárdulási folyamatát sok tényező, például a cement fajtája és mennyisége, a víz-cement tényező, a kiegészítő anyag és az adalékszer hatása, a tömörítés és az utókezelés módja és időtartama, a beton hidratációs (belső) hőmérséklete és a környezet (külső) hőmérséklete, a beton kora, voltaképpen a cementkő szilárdulása (hidratációja) és porozitása befolyásolja. Dolgozatunkban e tényezők közül első sorban az idő és a hőmérséklet hatását tárgyaljuk.

A beton kötési-szilárdulási állapota szerint meg szokták különböztetni a friss betont, azon belül a zöld betont és a fiatal betont, valamint a szilárd betont. *Zöld betonnak* a beépített és betömörített, de még kötés előtt lévő friss betont nevezik, amelynek „zöld szilárdsága” (mintegy 0,1-0,3 N/mm^2, legfeljebb 0,5 N/mm^2) nem a hidratáció, hanem a cementpép folyáshatárának és adhéziós erejének köszönhető. A zöld beton a hidratáció, a kötés és szilárdulás előrehaladtával éles határ nélkül, a víz hozzáadásától számított mintegy 6-12 óra között a képlékeny állapotból átmegy a *fiatal beton* viszkoelasztikus állapotába, amelyet nagy ernyedés (relaxáció) jellemez. A még közel képlékeny állapotú fiatal beton saját és gátolt alakváltozásból keletkező feszültségeinek nagy része az első napon még leépül, miközben azok az alakváltozások, amelyek a beton 48 órás kora után lépnek fel, csak nagyon lassan mérséklődő feszültségek forrásai. A fiatal beton megrepedése szempontjából a szakadó nyúlás mértéke a meghatározó. Ez eleinte igen nagy, de a beton dermedése után, a szilárdulás ütemétől függően, általában 6-16 órán belül minimumra esik (értéke mintegy 0,04-0,08 mm/m), majd egy hét alatt duplájára nő. Ahol a húzási szakadó nyúlás görbéjének minimuma, ott a beton – az idő függvényében ábrázolt – húzószilárdsági görbéjének inflexiós pontja van (*1. ábra*). Ettől az időponttól (vagy a *Vicat*-féle kötés kezdetétől) általában 14 napos korig (vagy rövidebb ideig, például 36 vagy 72 órás korig) nevezik a betont fiatal betonnak. A fiatal beton már megkötött és nem munkálható meg, átmenetet képez a friss és a szilárd beton között.

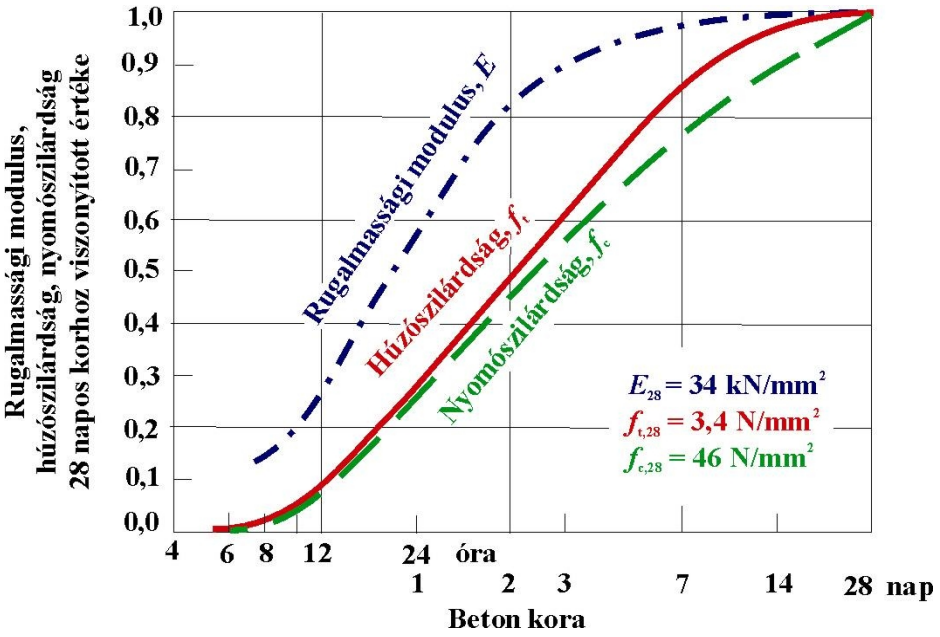


1. ábra: A zöld és a fiatal beton húzási tulajdonságai.

Forrás: vdz Zement-Taschenbuch (2008), *Zilch, K. – Diederichs, C. J. – Katzenbach, R.* (2001), *Schießl, P.* (2003), *Weigler, H. – Karl, S.* (1974)

A beton szilárdulása időben lejátszódó folyamat (*2. ábra*). A *20 °C hőmérsékleten szilárduló fiatal beton rugalmassági modulusa* már 24 órás korban elérheti a 28 napos korú beton rugalmassági modulusának mintegy 70 %-át, 2 napos korban pedig akár a 90 %-át. A rugalmassági modulus növekedésével az ernyedés – azaz az alakváltozási képesség, amelyben az ébredő feszültségek elenyésznek – egyre kisebb lesz. A beton *húzószilárdságának* fejlődése erősebben függ a cement fajtájától, 2 napos korban a 28 napos beton húzószilárdságának 50-65 %-át, 7 napos korban 80-85 %-át teheti ki. A nagyon lassan szilárduló cementek esetén 1-2 napos korban a még nagyon kis húzószilárdság és már nagyon nagy rugalmassági modulus következtében nagyon kicsi a nyúlási képesség, de később eléri a végértéket (0,1 mm/m). A beton *nyomószilárdsága* is jelentős mértékben függ a cement fajtájától. A nyomószilárdság a lassan, illetve a gyorsan szilárduló cementek esetén 3 napos korban a 28 napos beton nyomószilárdságának 35-55 %-át, 7 napos korban 60-75 %-át érheti el, mint az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 12. táblázatából is kitűnik. (*Iványi Gy*., 2006.)

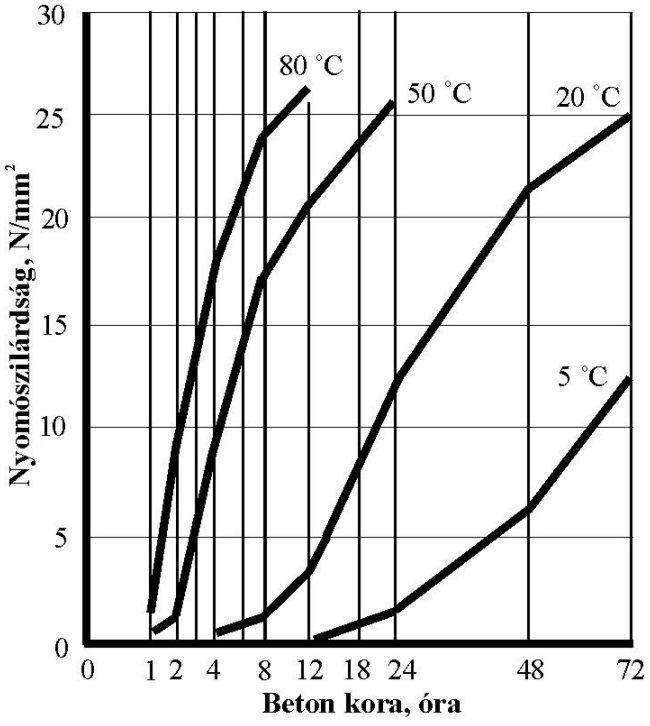
Az időfüggő alakváltozási tulajdonságok, mint a *kúszás és az ernyedés*, jelentős mértékben függenek a fiatal beton korától és az igénybevétel sebességétől, amely utóbbi a fiatal beton esetén lassúnak tekinthető. A fiatal beton ernyedési viszonyainak meghatározásához fontos a gátolt alakváltozásból eredő feszültségek leépülésének megismerése. Az ernyedési tényező, azaz a maradó feszültség és a számított, gátolt alakváltozásból eredő feszültség viszonyszáma, a kísérletek szerint, a terhelés hirtelen megjelenését követő 4-5 nap múlva 0,65-0,70. Ha a friss betont 1 napos korban hirtelen terhelik meg, vagy a terhet 2-4 napos korban lassan, több nap alatt hordják fel, akkor mind a két esetben 0,5 értéknél kisebb az ernyeedési tényező. A szilárdulás előre haladtával a beton ernyedési képessége erősen lecsökken. (*Iványi Gy*., 2006.)



2. ábra: A beton 28 napos korhoz viszonyított rugalmassági modulusának, húzó- és nyomószilárdságának növekedése az idő függvényében.

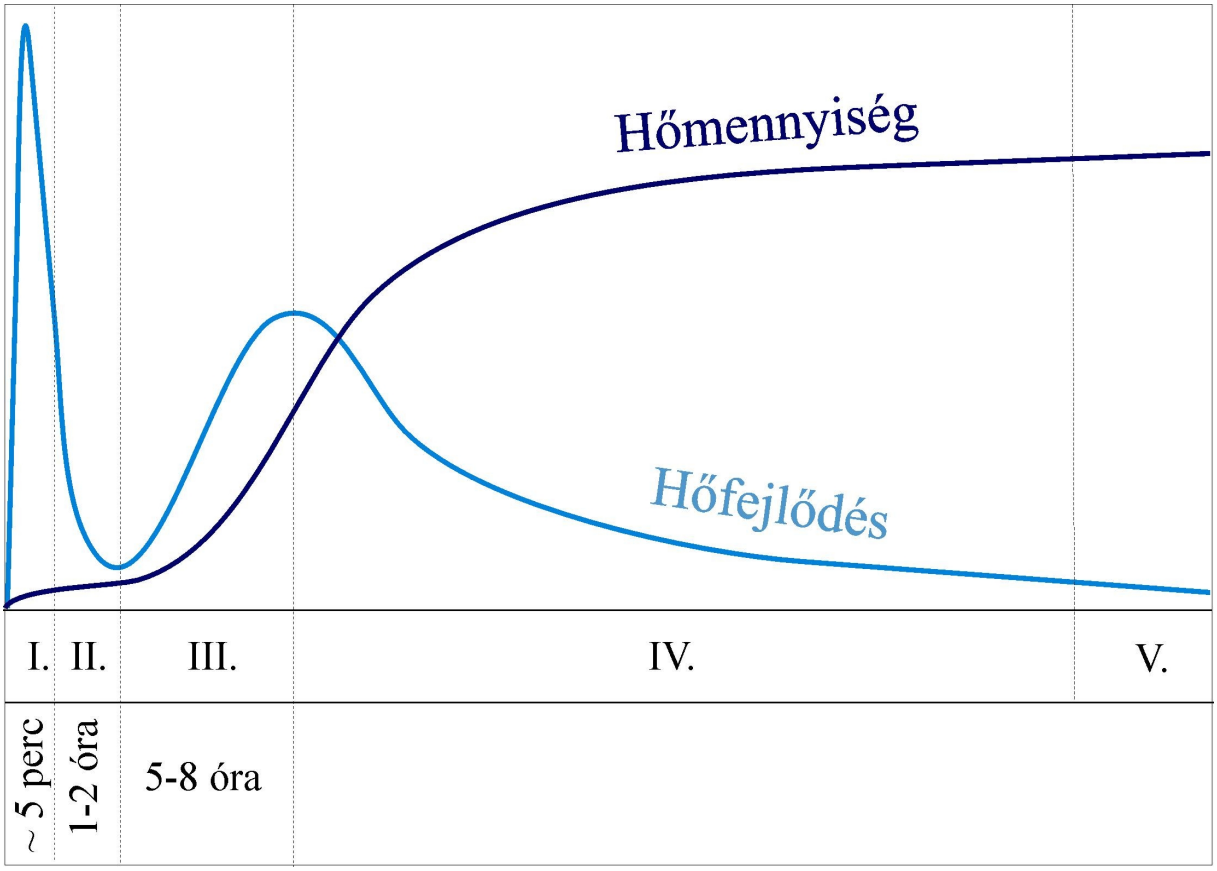
Forrás: *Weigler, H. – Karl, S.* (1974), *Iványi Gy.*, (2006), *Springenschmid, R.* (2007)

A beton kis hőmérsékleten lassabban, nagy hőmérsékleten gyorsabban szilárdul (*3. ábra*). A szilárdulást befolyásoló hőmérsékletnek két összetevője van, az egyik a beton hidratációs (belső) hőmérséklete (*4. ábra*), a másik a beton hőmérsékletére hatást gyakorló, a rövidhullámú (pl. napsugárzás) és a hosszúhullámú (pl. tárgyakról visszaverődő) hősugárzásból eredő környezeti (külső) hőmérséklet, amely a hidratációs hőfejlődés csillapodása után, lényegében a beton 48 órás korát követően, meghatározóvá válik. A környezeti hőmérsékletnek ezt a szilárdulást és alakváltozást befolyásoló hatását veszik figyelembe az érési, szilárdulási modellek, többnyire úgy, hogy a környezeti hőmérséklet hatását a 20 vagy 25 °C hőmérsékleten érlelt beton szilárdsági tulajdonságaira – mint összevetési alapra – vonatkoztatják. Dolgozatunkban a hőmérséklet alatt a beton környezeti hőmérsékletét értjük.



3. ábra: A hőmérséklet hatása a fiatal beton nyomószilárdságára, 350 kg/m³ CEM I 32,5 jelű cementtartalom és 0,5 víz-cement tényező esetén, *Wierig, H. J.* (1970) után.

Forrás: *Springenschmid, R.* (2007).



4. ábra: Hidratációs hőfejlődés folyamata
I. fázis: Lényegében a szabad kalciumoxid és a trikalcium-aluminát (felit) hidratációjának, valamint az ettringit, illetve a monoszulfát képződésnek a fázisa.
II. fázis: Az ettringit és a monoszulfát összefüggő burokként vonja be az aluminát (felit) és az aluminátferrit (celit) fázisokat, ezzel késleltetve ezek hidratációját, a hőfejlődés átmenetileg csökken. Alvó vagy nyugalmi periódusnak is nevezik.
III. fázis: A fázisokat bevonó burok átkristályosodás, ozmózis nyomás folytán áthatolhatóvá válik, a cement szemek reakcióképessége helyreáll, a hőfejlődés újra fokozódik és eléri maximumát.
IV. fázis: A hőfejlődés csökken és nullához tart. Kishőfejlesztésű cementek esetén ebben a fázisban csekély utómelegedés és harmadik, kis hőfejlődés csúcs lép fel.
V. fázis: A hidratáció gyakorlatilag befejeződik.
Forrás: *Madaleno, A. C. L.* (2002)

A sok befolyásoló tényező ellenére kidolgoztak olyan viszonylag egyszerű számítási módszereket (modelleket), amelyekkel a fiatal beton szilárdsági tulajdonságai (például a korai nyomószilárdság, húzószilárdság, rugalmassági modulus) *az idő és a hőmérséklet függvényében meghatározhatók*, és amelyek a beton szilárdulási folyamatát, érési állapotát leíró vagy becslő módszereknek (németül: Konzept der Betonreife, Konzept gewichteter Reife des Betons, Reifemodell; angolul: maturity method; franciául: méthode d'échéance) nevezhetők (*Zement-Taschenbuch*, 2008). Az irodalomban számos modell található (*Madaleno*, *A. C. L.,* 2002), dolgozatunkban ezek közül a legalapvetőbbeket tekintjük át.

2. NURSE-SAUL-FÉLE MODELL

A *Saul*-féle modell megfogalmazásának előzménye, hogy *R. W. Nurse* 1949-ben a beton szilárdulásának becslésére a hidratációs hőmérsékletből levezetett lineáris összefüggés alkalmazását javasolta. A *Nurse*-féle elképzelést *A. G. A. Saul* 1951-ben fejlesztette tovább, ezért *Saul* módszerét sokszor *Nurse-Saul*-féle modellnek nevezik.

A *Saul*-féle elmélet szerint a gőzölt beton korai nyomószilárdsága kizárólag az *R* érési fok-idő függvénye, és azt a hőmérséklet és a cement fajtája nem befolyásolja. A gőzölt beton *R* érési fok-idő száma nem más, mint a gőzölési idő-hőmérséklet diagram alatti terület nagysága, amelyet *Saul* a következő érési formulával (németül: Reifeformel von *Saul*) fejez ki:

$$R = \Sigma(T_i + 10)\cdot\Delta t_i \quad [\text{ºC·óra vagy ºC·nap}] \qquad (1)$$

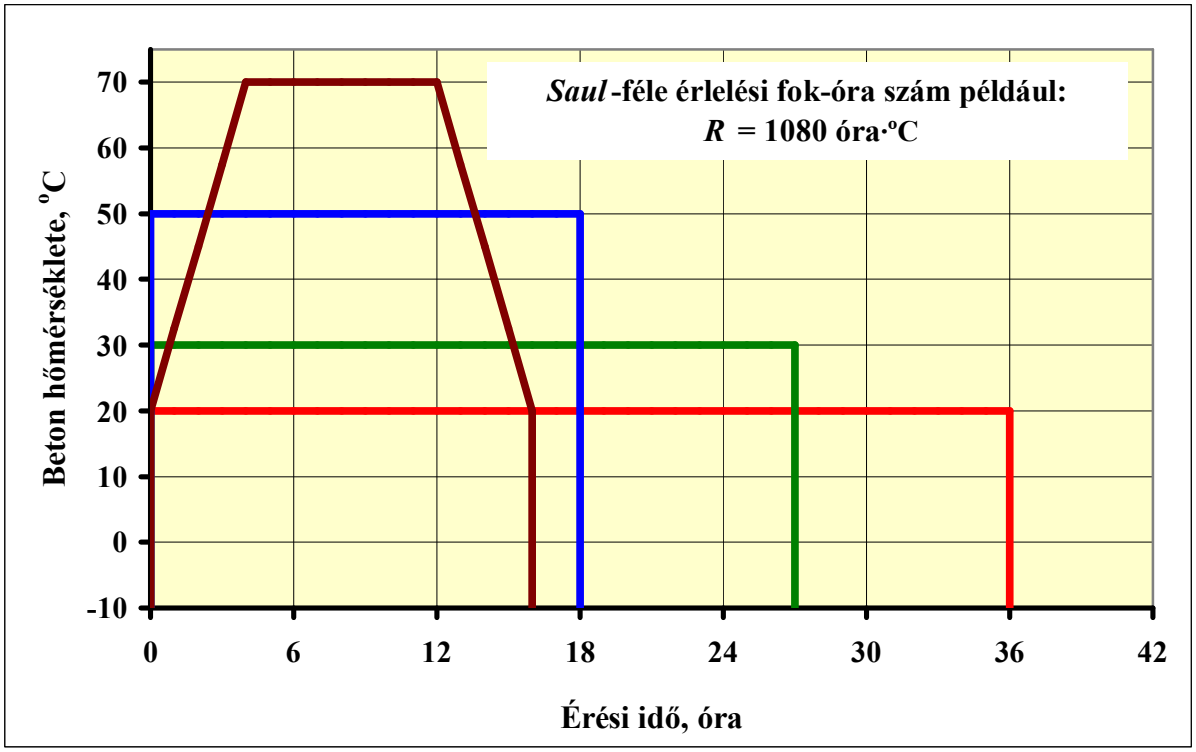
ahol:

- R a beton érését (hidratáció előrehaladtát) kifejező fok-idő (fok-óra vagy fok-nap) szám (németül: Reife), mint a gőzölt beton gőzölési idő-hőmérséklet diagramja alatti terület nagysága
- T_i az adott szilárdulási időtartam (intervallum) alatt változatlan betonhőmérséklet vagy átlag betonhőmérséklet, °C-ban kifejezve
- Δt_i a szilárdulási időtartam (intervallum), amely alatt a hőmérséklet változatlan vagy átlagával jellemezhető (T_i), napban vagy órában kifejezve
- i a szilárdulási időtartam (intervallum) sorszáma, $i = 1, 2, 3 \ldots n$

A *Saul*-féle formulából kitűnik, hogy $T_i = -10$ ºC esetén az fok-idő szám $R_i = 0{,}0$ ºC·óra, tehát *A. G. A. Saul* feltételezi, hogy a beton hidratációja a $T_i = T_0 = -10$ ºC alsó hőmérsékleten megáll. Tapasztalatok szerint (+3 és -10) ºC hőmérséklet között a beton szilárdulása rendkívül lelassul, és -2 ºC hőmérséklet alatt a beton csak akkor szilárdul, ha már olyan szilárd, hogy a fagy nem károsítja (*Springenschmid* 2007).

Saul tételéből az következnek, hogy az azonos összetételű, különböző hőmérsékleten érlelt betonoknak azonos a szilárdsága, ha az *R* érési fok-idő számuk egyforma. Például a

- 36 órán át konstans 20 ºC hőmérsékleten szilárdult beton [$R = (20 + 10)\cdot 36 = 1080$ ºC·óra] nyomószilárdsága ugyan akkora, mint az ugyan olyan összetételű, de
- 27 órán át konstans 30 ºC hőmérsékleten érlelt betoné [$R = (30 + 10)\cdot 27 = 1080$ ºC·óra], vagy a
- 18 órán át konstans 50 ºC hőmérsékleten érlelt betoné [$R = (50 + 10)\cdot 18 = 1080$ ºC·óra], vagy a
- 4 óra alatt 20 ºC-ról 70 ºC hőmérsékletre felfűtött, 8 órán át konstans 70 ºC hőmérsékleten érlelt és 4 óra alatt 70 ºC-ról 20 ºC hőmérsékletre lehűtött betoné [$R = (20 + 50/2 + 10)\cdot 4 + (70 + 10)\cdot 8 + (20 + 50/2 + 10)\cdot 4 = 1080$ ºC·óra], mert az érési fok-óra számuk egyforma (*5. ábra*).



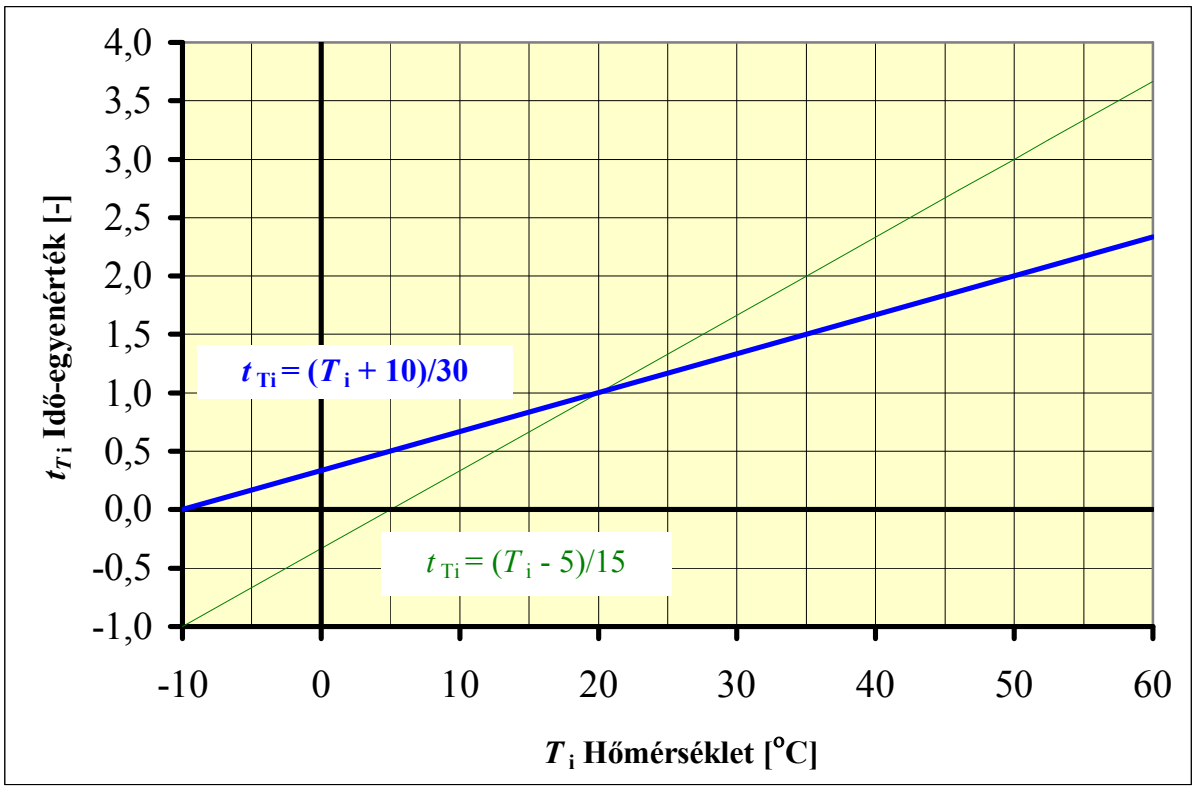
5. ábra: Azonos érési (érlelési) fok-óra számú betonok *Saul*-féle hőmérséklet-idő diagramja

Ha $\Delta t_i = 1$ napon át a hőmérséklet $T_{20ºC} = 20$ ºC, akkor a 20 ºC hőmérséklethez tartozó fok-idő szám $R_{20ºC} = (20 + 10)\cdot 1 = 30$ ºC·nap. Képezzük egy adott T_i betonhőmérséklethez tartozó R_{Ti} fok-idő szám és a $T_{20ºC} = 20$ ºC betonhőmérséklethez tartozó $R_{20ºC}$ fok-idő szám hányadosát, ha a szilárdulási időtartam $\Delta t_i = 1$ nap:

$$t_{T_i} = \frac{R_{T_i}}{R_{20^\circ C}} = \frac{T_i + 10}{30} \qquad [nevezetlen\ \ szám] \qquad (2)$$

A (2) szerinti hányados azt fejezi ki, hogy egységnyi időtartamot, például 1 napot tekintve, egy adott T_i hőmérséklethez tartozó R_{Ti} fok-nap szám hányszorosa a $T_{20ºC} = 20$ ºC hőmérséklethez tartozó $R_{20ºC} = 30$ fok-nap számnak, más szóval, hogy a szóban forgó T_i hőmérsékletű, *i*-edik nap a kémiai reakció (például a beton szilárdulása) szempontjából hány 20 ºC hőmérsékletű nappal ér fel. Ezt a $\boldsymbol{t_{Ti}}$ hányadost „érési képlet”-nek (németül: Reifeformel) nevezik, aminél talán kifejezőbb az **idő-egyenérték** megnevezés.

A *Saul*-féle idő-egyenérték összefüggés képe a T_i-t_{Ti} koordináta rendszerben ábrázolva egy $y = a\cdot x + b$ alakú egyenes, amelynek paraméterei: a = 1/30 és b = 10/30. A 20 ºC hőmérsékletű nap idő-egyenértéke $t_{Ti} = t_{20ºC} = 1{,}0$, a $T_i = T_0 = -10$ ºC alsó hőmérsékletű nap idő-egyenértéke $t_{Ti} = t_{-10ºC} = 0{,}0$ (*6. ábra*). A következőkben látni fogjuk, hogy a $T_i = T_0 = 5$ °C alsó hőmérséklettel jellemzett *Saul*-féle függvényt a (10 – 35) °C hőmérsékleti tartományban akár ma is használhatjuk, ezért a *6. ábrán* ennek egyenesét is feltüntettük.



6. ábra: A *Saul*-féle idő-egyenérték összefüggés, ha $T_i = T_0 = -10$ °C (és ha $T_i = T_0 = +5$ °C)

A i-edik tényleges szilárdulási időtartamot (Δt_i) az idő-egyenértékkel (t_{Ti}) megszorozva az ***i*-edik hatékony időtartamot** (németül: *wirksames Betonalter*) kapjuk:

$$\Delta t_{T_i} = t_{T_i} \cdot \Delta t_i = \frac{T_i + 10}{30} \cdot \Delta t_i \quad [nap\ vagy\ óra] \tag{3}$$

Ha a hatékony időtartamokat a kémiai reakció kezdetétől (például a beton elkészítésétől) a vizsgált időpontig, tehát i = 1-től n-ig összegezzük, akkor megkapjuk, hogy a vizsgált időpontig eltelt tényleges időtartam a kémiai reakció (a beton szilárdulása) szempontjából mekkora t_T **helyettesítő időtartamnak** (németül: *tatsächliches Betonalter*) felel meg, amelyet a *Saul*-féle összefüggés a következőképpen fejez ki:

$$t_T = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_{T_i} = \sum_{i=1}^{n} \frac{T_i + 10}{30} \cdot \Delta t_i \quad [nap\ vagy\ óra] \tag{4}$$

A (4) összefüggés – 1978. évi CEB-FIP Model Code ajánlásra hivatkozással – megjelent *Szalai K.* (1982) tanulmányának 2.9. fejezetében a fentihez képest azzal a különbséggel, hogy a hatékony időtartamok összegét ($\Sigma\Delta t_{Ti}$) gyorsan szilárduló, ún. rapid cementek esetén kettővel, gyorsan szilárduló nagyszilárdságú cementek esetén hárommal szorozták. Az így kapott t helyettesítő időtartamot a beton képzett korának nevezték, amelyhez tartozó R_t nyomószilárdságból a 28 napos korú beton R_{28} nyomószilárdságát az

$$R_{28} = \frac{R_t}{\gamma_t} = \frac{R_t}{0{,}83 \cdot \sqrt{lg\, t}} \tag{5}$$

összefüggésből számították ki. A t = 1, 7 és 14 napos korú mesterségesen szilárdított beton esetén az (5) alatti összefüggésbe a $\gamma_t = 0{,}83 \cdot \sqrt{\lg t}$ kifejezés helyett $\gamma_1 = 0{,}45$; $\gamma_7 = 0{,}80$; $\gamma_{14} = 0{,}90$ tapasztalati értéket helyettesítettek.

Az *egykori DIN 4227-1:1988 szabványban* (ma helyette a DIN 1045-1:2008 szabvány van érvényben) a *kúszási tényező* (8.3. fejezet) és a *zsugorodás* (8.4. fejezet) $t < \infty$ időponthoz tartozó értékét a *Saul*-féle összefüggésből származtatott helyettesítő időtartam (t_T) figyelembevételével számították ki. A DIN 4227-1:1988 szabvány 8.6. fejezetében a fentiektől eltérően a helyettesítő időtartam (t_T) összefüggését nevezték „wirksames Betonalter”-nek (*Beton-Kalender* 1991, Teil II, pp. 263.).

A *Bunke, N.* szerkesztésében megjelent *DAfStb Heft 422.* kiadvány (1991) 4.2.2 fejezetében a t_T helyettesítő időtartamot a vizsgálati idő ($\Sigma\Delta t_i$) százalékban fejezték ki (németül relative Reife, jele *rel R*):

$$\text{rel } t_T{}^{\%} = \frac{\sum (T_i + 10) \cdot \Delta t_i}{30 \cdot \sum \Delta t_i} \cdot 100 \quad [nevezetlen\ szám] \tag{6}$$

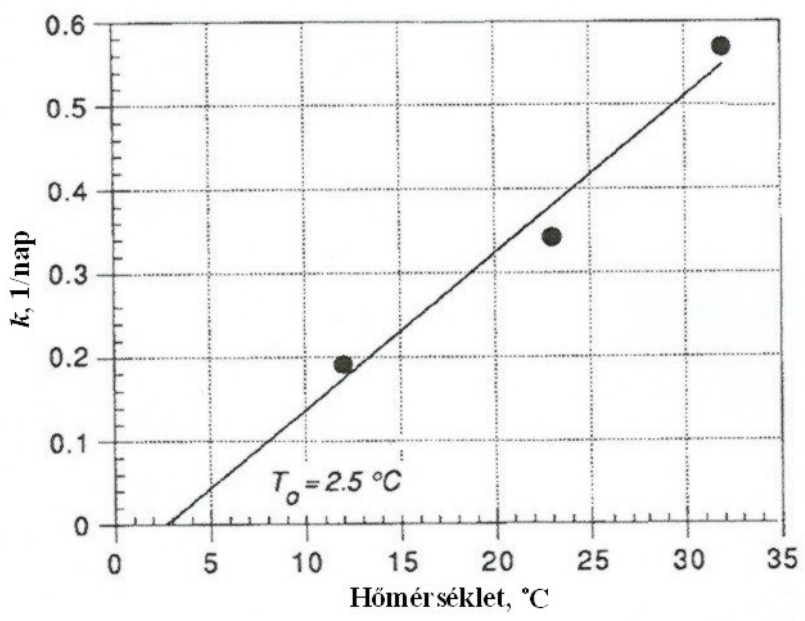
ahol:

T_i a beton napi átlaghőmérséklete, ºC-ban kifejezve
Δt_i a napok száma, amelyeken a beton napi átlaghőmérséklete T_i

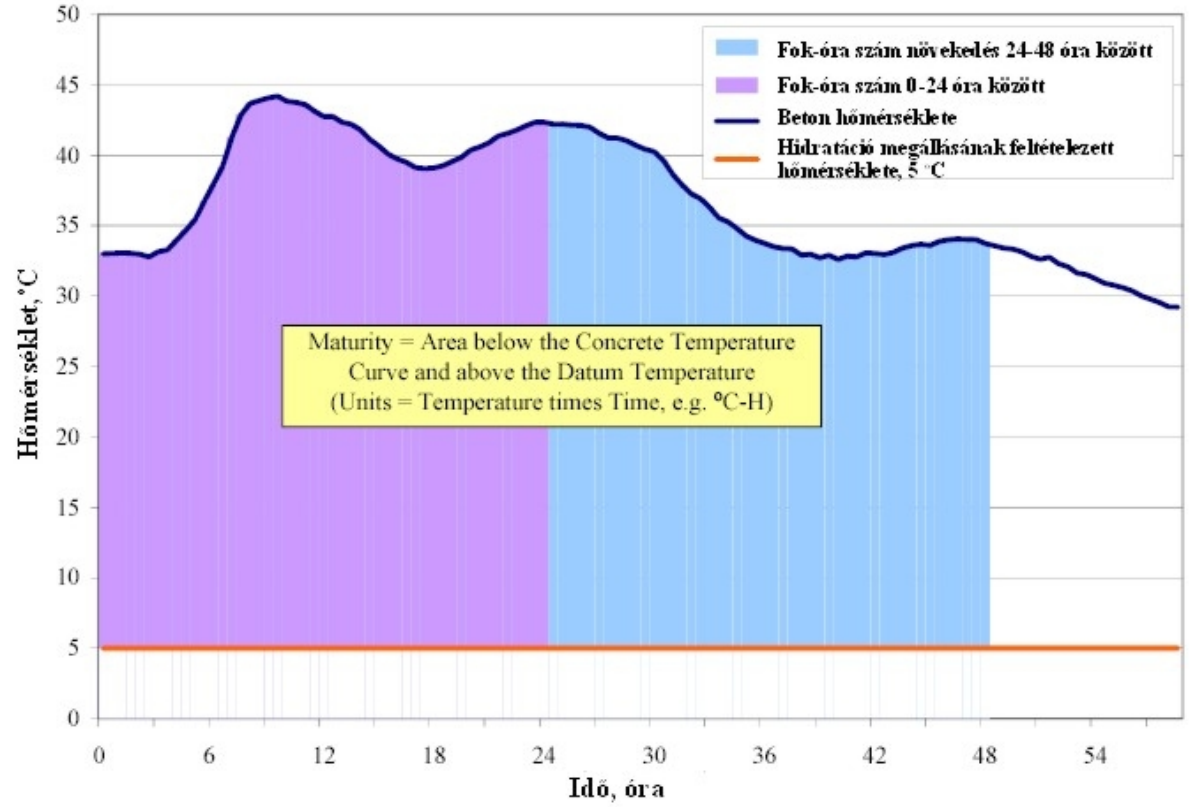
A *Nurse-Saul*-féle elmélet hiányosságai ellenére sem veszítette el időszerűségét, így például az *Iványi György* által szerkesztett *DAfStb Heft 555.* előírás magyarázat (*Iványi Gy.*, 2006) a vízzáró beton építmények irányelvével kapcsolatban a gátolt alakváltozás (németül: Zwang) szempontjából tárgyalja.

Az *ASTM (American Society for Testing and Materials)* Amerikai Anyagvizsgáló Társaság 1987-ben adta ki először az ASTM C 1074-87 szabványt, amellyel a beton érési, szilárdulási állapotának becslését ipari körülmények között is szabályozott módon lehetővé tette (*Report IPRF*, 2006). Az ASTM C 1074-87 szabványban és a ma érvényes változatában (ASTM C 1074-04) két módszert írnak le, ezek egyike a *Nurse-Saul*-féle módszer néven tárgyalt *Saul*-féle, másika a később ismertetésre kerülő *Arrhenius*-féle módszer.

Az ASTM C 1074-04 szabványban és az újabb amerikai irodalomban az eredeti *Saul*- és a később bemutatandó *de Vree*-féle felfogástól (T_0 = -10 °C) eltérő T_0 hőmérsékleteket jelölnek meg a *Saul*-féle fok-óra szám diagram alatti terület alsó határvonalaként (angolul: *datum temperature*), feltételezve, hogy ezen a hőmérsékleten már nincs hidratáció. Ennek megfelelően az ASTM C 1074-04 szabvány 6.2 fejezete a *Nurse-Saul*-féle összefüggést a T_0 értékének megadása nélkül, az (l) szerintitől kissé eltérő $R = \Sigma(T_i + T_0)\cdot\Delta t_i$ alakban mutatja be. A T_0 hőmérséklet jelentőségét a szabvány A1.2 melléklete (Annex A1.2) és X1.2 függeléke (Appendix X1.2) tárgyalja. Az ASTM C 1074-04 szabvány az A1.2 mellékletben a T_0 = 2,5 °C alsó hőmérsékletre közöl diagramot (*7. ábra*), amerikai irodalmi példaként pedig a T_0 = 5 °C alsó hőmérséklet alkalmazására mutatjuk be a *8. ábrát* (*Report IPRF*, 2006).

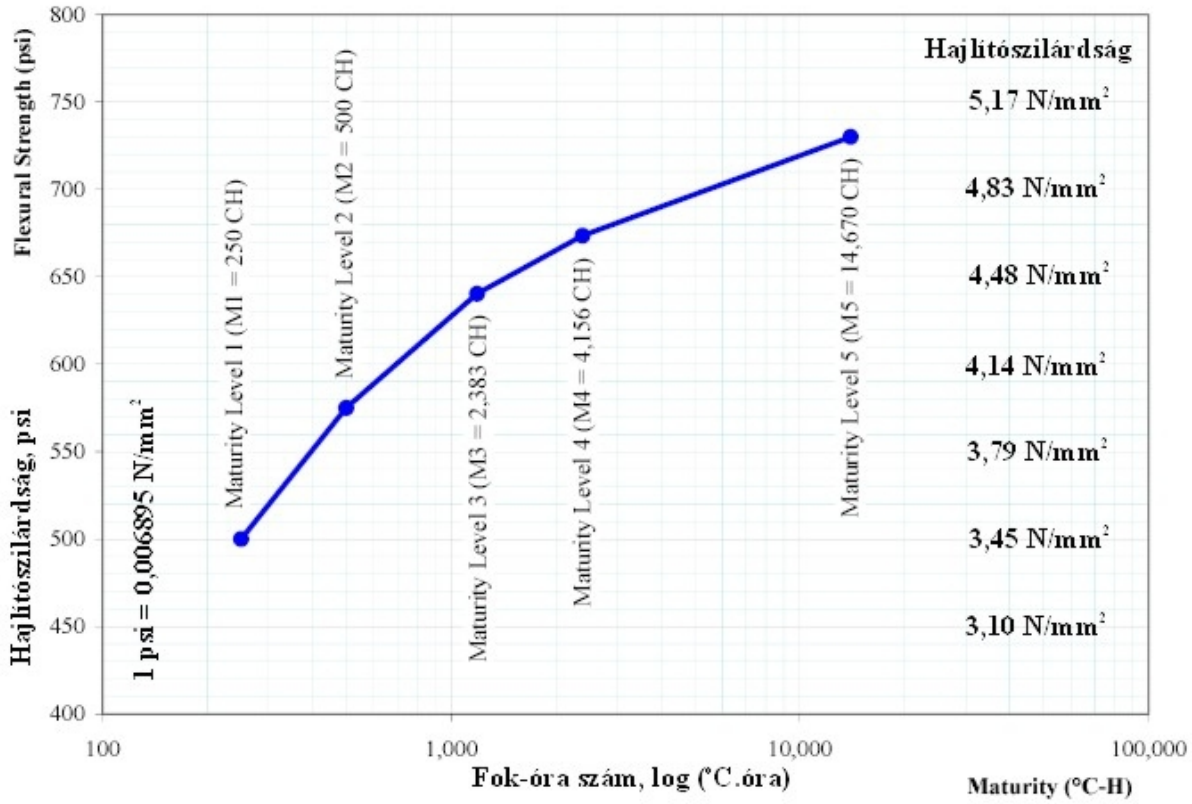


7. ábra: A *Saul*-féle fok-óra szám diagram alatti terület értelmezése az ASTM C 1074-04 szabvány szerint, annak feltételezésével, hogy T_0 = 2,5 °C hőmérséklet alatt nincs hidratáció.



8. ábra: Irodalmi példa a *Saul*-féle fok-óra szám diagram alatti terület értelmezésére, annak feltételezésével, hogy T_0 = 5 °C hőmérséklet alatt nincs hidratáció. Forrás: *Report IPRF*, 2006.

Az *ASTM C 1074-04* szabvány az eredetihez (ASTM C 1074-87) képest bizonyos változtatásokkal van érvényben, például a szilárdulási folyamat vizsgálatát a nyomószilárdságon kívül 2004-ben, az új 8.7 szakasszal a hajlító-húzószilárdságra is kiterjesztették (*9. ábra*).



9. ábra: Összefüggés a *Saul*-féle fok-óra szám és a hajlítószilárdság között. Forrás: *Report IPRF*, 2006

3. PAPADAKIS-BRESSON-FÉLE MODELL

A *Saul*-féle tétel a beton szilárdulási hőmérséklete és nyomószilárdsága közötti összefüggést nagyon leegyszerűsíti. Nem veszi figyelembe, hogy a beton érését kifejező fok-idő szám nagyobb hőmérsékleten hatványozottan növekszik, vagy, hogy a különböző cementféleségeknek különböző hatása van az érési fok-idő számra, pedig például a tiszta portlandcement (CEM I) nyomószilárdságának növekedése nagyobb hőmérsékleten lassabb, mint a kohósalak és egyéb tartalmú portlandcementé (CEM II) vagy a kohósalakcementé (CEM III), és kisebb hőmérsékleten épp fordítva, gyorsabb. Holland cementgyári kísérletek - amelyeket különböző fajtájú és szilárdsági osztályú cementekkel végeztek – eredménye szerint (*Vree – Tegelaar*, 1998) azonos érési fok-óra szám esetén a beton nyomószilárdsága nem azonos, hanem a hőmérséklet növekedésével növekszik (*17. ábra*).

A francia *CERIS* kutatóintézetben (Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton, Betonipari Tanulmányok és Kutatások Központja, Franciaország, Épernon) *Papadakis, M.* és *Bresson, J.* 1973-ban alakította ki betonérés (szilárdság) becslési módszerét, amellyel – a cement hőérzékenységét figyelembe vevő tényező bevezetése által – a *Saul*-féle eljárást továbbfejlesztette. A bevezetett *Papadakis – Bresson*-féle tényező módosító hatása a nagyobb hőmérsékletek esetén nagyobb, ezért a módszert „súlyozott érés”-nek (hollandul: gewogen rijpheid, angolul: weighted maturity; németül: gewichtete Reife; franciául: maturité pondéré, és a jele *cal R*) nevezték, amelynél magyarul talán kifejezőbb a „cementfüggő” érés megnevezés.

A *10. ábrán* látni, hogy *Papadakis* és *Bresson* az érési idő – diagram alatti területet az abszcissza-tengellyel párhuzamosan 20 °C hőmérséklettől felfele 10 °C hőmérséklet terjedelmű részekre osztotta, és a kapott s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6 nagyságú területeket n = 0, 1, 2, 3, 4, 5 sorszámmal látta el. Bevezették az „A” tényezőt, amely a cement tulajdonságaitól függő állandó szám, amelynek az n sorszám a hatvány kitevője. Minden n-edik s_{n+1} nagyságú területet az „A^n” tényezővel megszorozták. A 20 °C hőmérséklet alatti s_1 terület szorzója

A^0 = 1,0; a (20 – 30) °C közötti s_2 területé $A^1 = A$; és így tovább. Az $s_{n+1} \cdot A^n$ szorzatokat összeadva kapták a „súlyozott” (cementfüggő) érési fok-óra számot:

$$F_{mp} = \sum_{n=0}^{i} s_{n+1} \cdot A^n \quad \left[{}^{o}C \cdot óra \right] \tag{7}$$

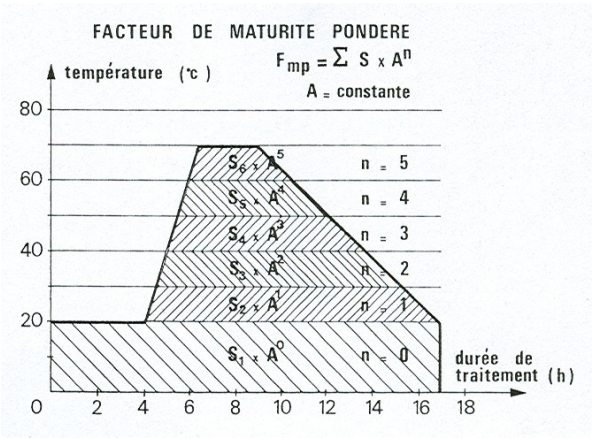
A (7) szerinti *Papadakis-Bresson*-féle összefüggés a *DAfStb Heft 422.* kiadvány (*Bunke, N.,* 1991) 4.2.2 fejezetében is megtalálható.

Papadakis és *Bresson* a relatív nyomószilárdságot (R/R_{28}) a fok-idő számhoz tartozó nyomószilárdságnak (R) és a 20 °C hőmérsékleten tárolt 28 napos próbatestek nyomószilárdságának (R_{28}) hányadosaként fejezte ki a cementfüggő érési fok-idő szám függvényében (*11. - 15. ábra*).

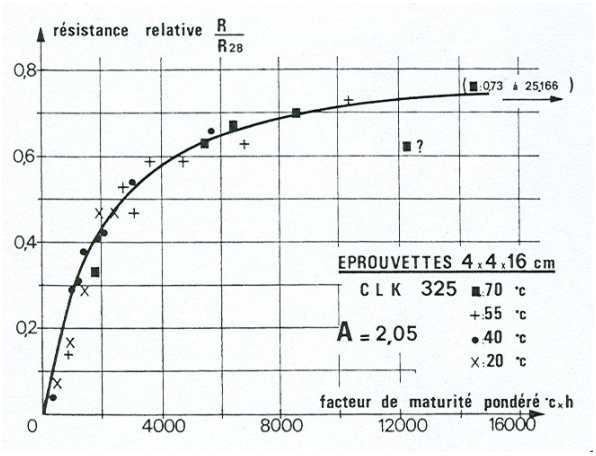
A *11. és 12. ábrán* összesen hat különböző cementtel készült és különböző hőmérsékleten érlelt próbatest *Papadakis – Bresson*-féle érési diagramját tüntettük fel, a lineáris beosztású abszcisszán az érési fok-óra szám, az ordinátán a viszonyított nyomószilárdság szerepel. Ezek közül a cementek közül kiválasztottak két cementet, egy mai CEM III kohósalakcementnek megfelelőt (CLK 325 a *13. ábrán*) és egy mai CEM II –V pernyeportlandcementnek megfelelőt (CPAC 325 a *14. ábrán*), és ezek érési diagramját lineáris beosztású, de már a cementfüggő érési fok-óra szám abszcisszájú koordináta-rendszerben (*13. - 14.* ábra), majd közös ábrán, logaritmikus beosztású, cementfüggő érési fok-óra szám abszcisszájú koordináta-rendszerben ábrázolták (*15. ábra*). A szemi-logaritmikus koordináta-rendszerben a *13.* és a *14. ábrán* a görbe futású érési függvények alakja egyenes lett. A cementfüggő „*A*” tényező értéke a *13.* és a *14. ábrán* látható.

A *13. - 15. ábrák* szerint a vizsgált kohósalakcement és pernyeportlandcement 28 napos nyomószilárdságának felét (R/R_{28} = 0,5) 3000 ^{o}C·óra érési fok-óra szám mellett el lehet érni. A *Papadakis – Bresson*-féle 3000 ^{o}C·óra érési fok-óra számú cementek *16. ábrán* feltüntetett érési diagram változatai közül a technológiailag legkedvezőbbet lehet alkalmazni.

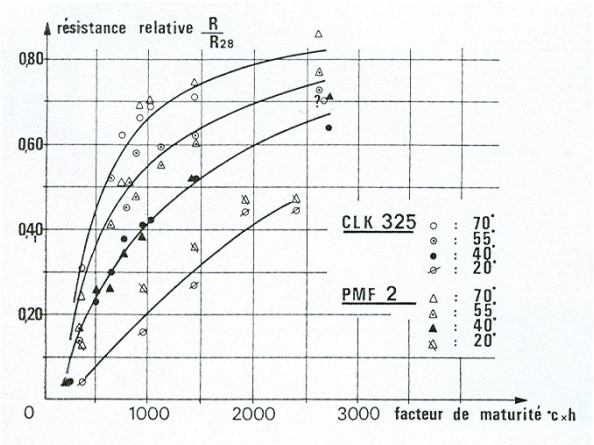
A *Papadakis – Bresson*-féle módszer hátránya, hogy csak 20 °C hőmérséklet felett használható, 20 °C hőmérséklet alatt minden cement egyforma hőérzékenységűnek tűnik, ami nem felel meg a valóságnak, hiszen például kis hőmérsékleten a CEM III/B típusú kohósalakcement szilárdulása lassabb, mint a CEM I tiszta portlandcementé.



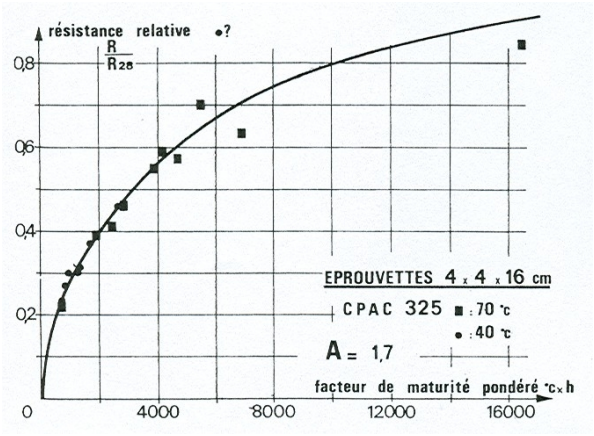
10. ábra: A „súlyozott” (cementfüggő) érési fok-óra szám meghatározása *Papadakis – Bresson* szerint



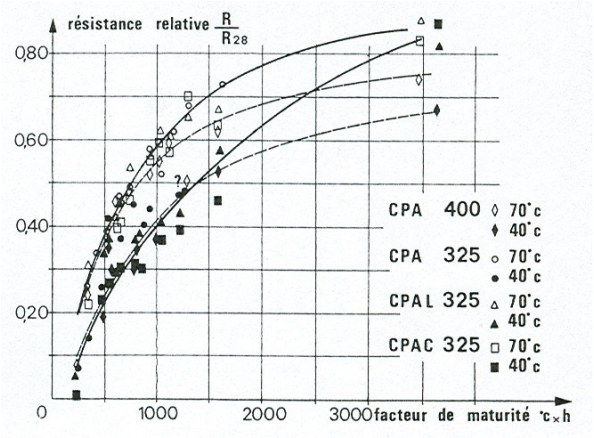
13. ábra: Kohósalakcement próbatestek *Papadakis – Bresson*-féle „súlyozott” (cementfüggő) érési diagramja



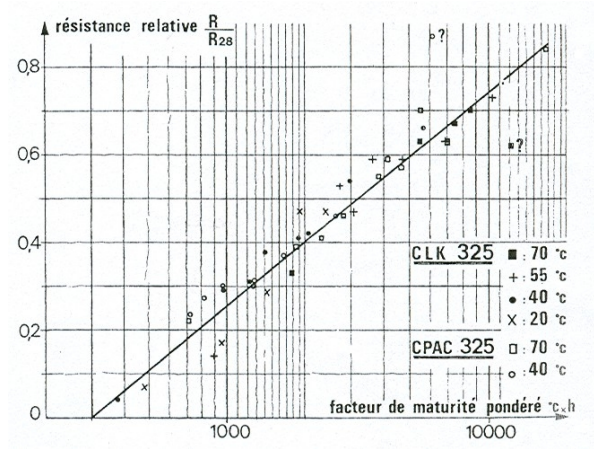
11. ábra: Két különböző cementtel készült és különböző hőmérsékleten érlelt próbatest *Papadakis – Bresson*-féle érési diagramja



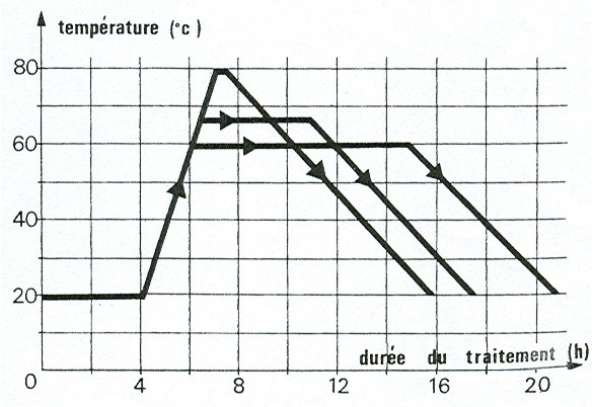
14. ábra: Pernyeportlandcement próbatestek *Papadakis – Bresson*-féle „súlyozott” (cementfüggő) érési diagramja



12. ábra: Négy különböző cementtel készült és különböző hőmérsékleten érlelt próbatest *Papadakis – Bresson*-féle érési diagramja



15. ábra: Kohósalakcement és pernyeportlandcement próbatestek *Papadakis – Bresson*-féle „súlyozott” (cementfüggő) érési diagramja szemi-logaritmikus koordináta-rendszerben ábrázolva



16. ábra: *Papadakis – Bresson*-féle 3000 ^{o}C·óra fok-óra számú betonok érési diagram változatai

A *10. - 16. ábra* forrása: *Papadakis, M. – Bresson, J.* 1973.

Magyarázat a *10. - 16. ábrához*:

Facteur de maturité = érési fok-óra szám
Facteur de maturité pondéré = „súlyozott” érési fok-óra szám; cementfüggő érési fok-óra szám
Durée de traitement = érési időtartam
Résistance relative = viszonyított nyomószilárdság
Température = hőmérséklet
Eprouvettes = Vizsgálati próbatest mérete
CPA (Ciment Portland Artificiel) = tiszta portlandcement, mai megfelelője: CEM I
CPAL (Ciment Portland Artificiel au Laitier) = kohósalakportlandcement, mai megfelelője: CEM II -S
CPAC (Ciment Portland Artificiel aux Cendres) = pernyeportlandcement, mai megfelelője: CEM II -V
CLK = (Ciment de Laitier de Haut-Fourneaux au Clinker) = kohósalakcement, mai megfelelője: CEM III
PMF-2 (Ciment Pouzzolano-Métallurgique) = kompzitcement, mai megfelelője: CEM V
A cement betűjele után álló szám a cement nyomószilárdsága 28 napos korban, bar-ban kifejezve (1 bar = 0,1 N/mm^2)
A *10. – 14. ábra*, valamint a *16. ábra* abszcissza-tengelye lineáris, a *15. ábra* abszcissza-tengelye logaritmikus beosztású

FELHASZNÁLT IRODALOM

ASTM C 1074-04 „Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method”, 2004; A szabvány korábbi változata 1993-ban, illetve 1998-ban jelent meg „Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method” címmel

Beton-Kalender 1991: Schriftleitung J. Eibl, Karlsruhe, Teil II, pp. 263, Jahrgang 80., Ernst & Sohn, Berlin, 1991.

Bunke, N. (szerkesztette): „Prüfung von Beton-Empfehlungen und Hinweis als Ergänzung zu DIN 1048”, DAfStb, Heft 422, Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln, 1991

DIN 4227:1988 „Spannbeton – Teil 1: Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung”

Papadakis, M. – Bresson, J.: „Contribution à l’ètude du facteur de maturité des liants hydrauliques application à l’industrie du béton manufacturé”, Revue des Matériaux, Ciments – Betons, Nr. 678, 3/1973, pp. 18-22.

Report IPRF-01-G-002-03-6 „Using Maturity Testing for Airfield Concrete Pavement Construction and Repair”, An Research Report IPRF – Innovative Pavement Research Foundation – Airport Concrete Pavement Technology Program. Skokie (USA, Illinois) 2006.

Saul, A. G. A.: „Principles underlaying the steam curing of concrete at atmospheric pressure”, Magazine of Concrete Research, 1951, No. 6., pp. 127-140.

Vree, de, R. T. – Tegelaar, R. A.: „Gewichtete Reife des Betons”, beton, Jg. 48., 1998. H. 11. pp. 674-678.

„Zement-Taschenbuch” vdz. Verein Deutscher Zementwerke e.V. 51. Ausgabe. Verlag Bau+Technik GmbH., Düsseldorf, 2008., 5.4.1. fejezet, pp. 329-332.

A dolgozat folytatása ide kattintva olvasható.

A cikk rövidített változata megjelent a	BETON szakmai havilap	2010. december havi számának 6-8. oldalán

Vissza a Noteszlapok abc-ben tartalomjegyzékhez

Vissza a Noteszlapok tematikusan tartalomjegyzékhez

Vissza a Fogalmak könyvtár tartalomjegyzékéhez

Tovább a „Fiatal beton szilárdulási folyamata” című dolgozat 2. részére